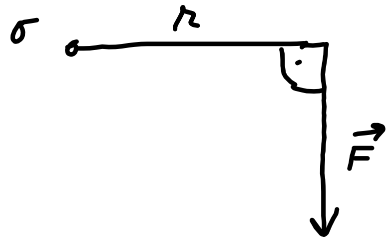
moment síly

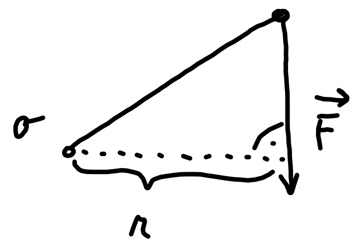
otáčivý účinek síly



$M = F \cdot r$

r ... rameno síly

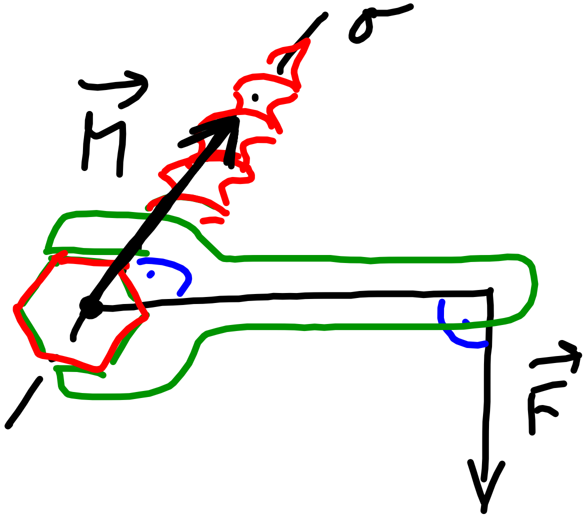
1



$M = F \cdot r$

... za ramo síly (r) dosadíme vzdálenost vektorové přímky síly od osy otáčení

$\vec{M}$ ... je vektor – má směr osy otáčení
(orientaci určíme podle pravidla
pravotočivého šroubu)

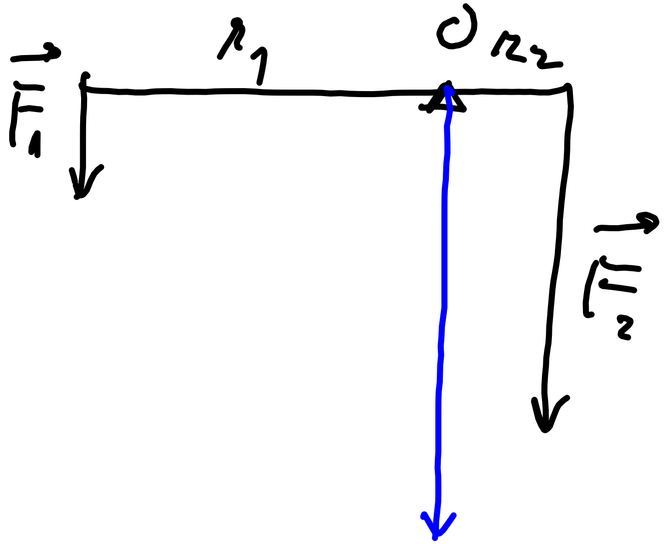


při působení více sil
(momentů sil) se
momenty sil skládají

pro rovnováhu sil (momentů sil)
platí <u>momentová věta</u>

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \dots + \vec{M}_n = \vec{0}$$

DÚ - dopsat snímí + příkl. z učebnice

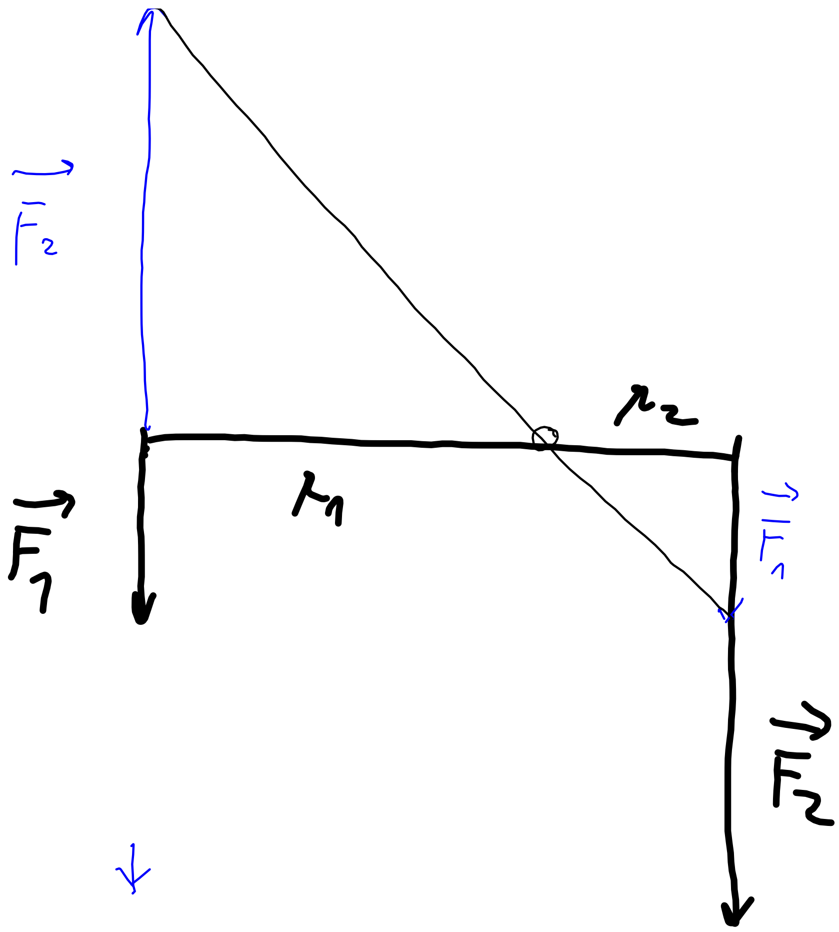


$$F = F_1 + F_2$$

$$F_2 \cdot r_2 = F_1 \cdot r_1 \quad \Big/ \cdot \frac{1}{F_2 \cdot r_1}$$

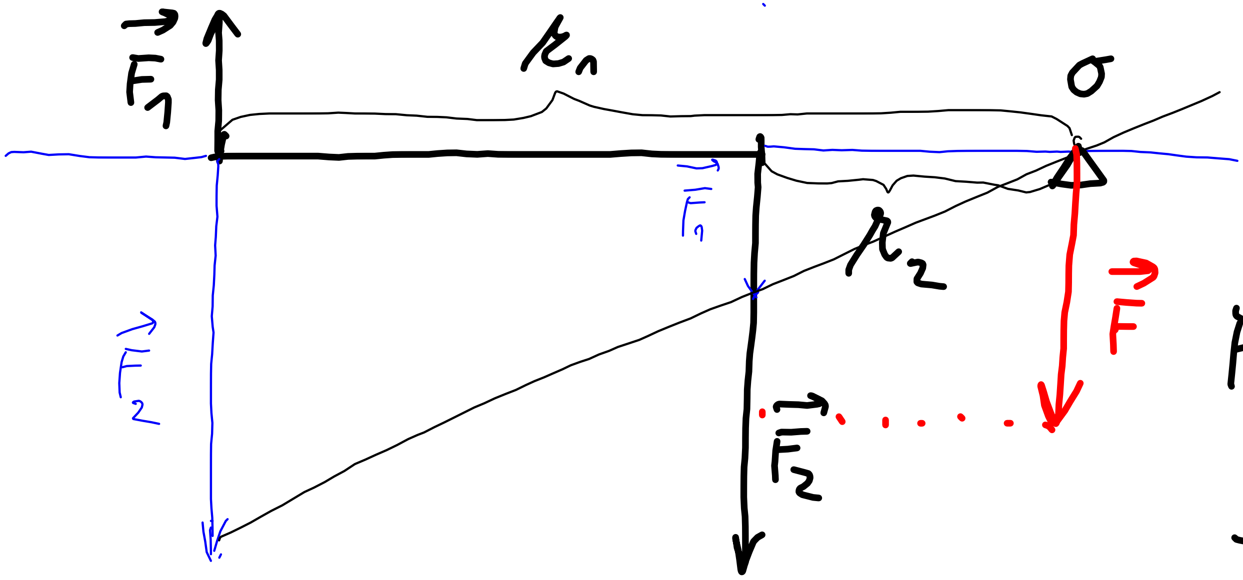
$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{F_1}{F_2} \quad \ldots \text{pro konst.}$$

řešení využijeme podobní trojúhelníky



$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{F_1}{F_2}$$

Skládání opačně orient. sil (rovnoběžných)



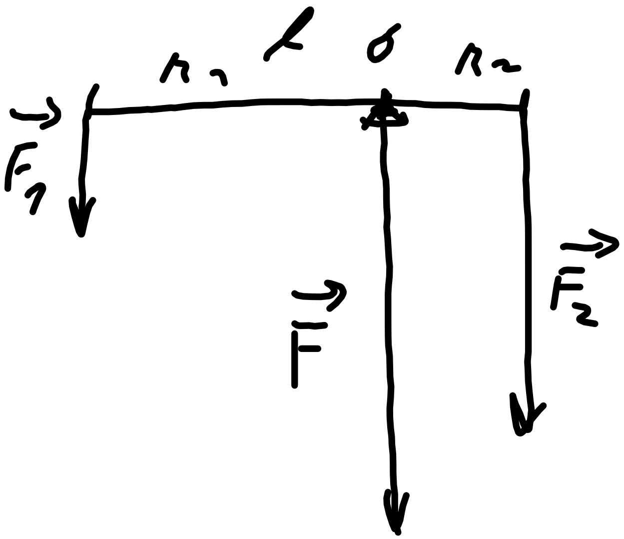
$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$$

$$F = F_2 - F_1$$

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{F_1}{F_2}$$

Př: Na koncích metrové tyče jsou pověšena závaží o tíze 50 N a 150 N. Ve kterém místě máme tyč podepřít, aby byla závaží v rovnováze? (Určete působiště výsledné síly.)



$l = 1\,m$

$F_1 = 50\,N$

$F_2 = 150\,N$

$$\boxed{\begin{aligned} F_1 r_1 &= F_2 r_2 \\ r_1 + r_2 &= l \end{aligned}}$$

$r_1 = 3r_2$

$50 r_1 = 150 r_2 \quad /:50$

$r_1 + r_2 = 1$

$r_1 = 3r_2$

$3r_2 + r_2 = 1$

$4r_2 = 1$

$r_2 = \frac{1}{4}\,m$

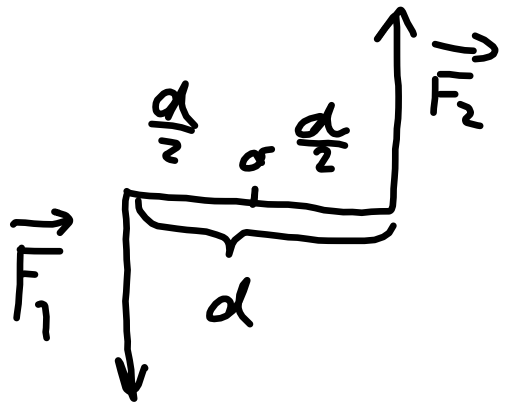
Tyč musíme podepřít 0,25 m od působiště větší síly.

Př: $F_1 = F_2 = F = 50\ N$

$d = 10\,cm = 0{,}1\,m$

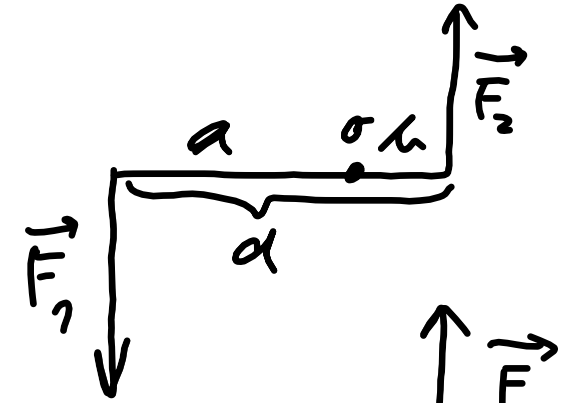
a) $M = F \cdot d = 50 \cdot 0{,}1 = 5\ Nm$

b) vzhledem k ose umístěné uprostřed mezi silami F_1, F_2.



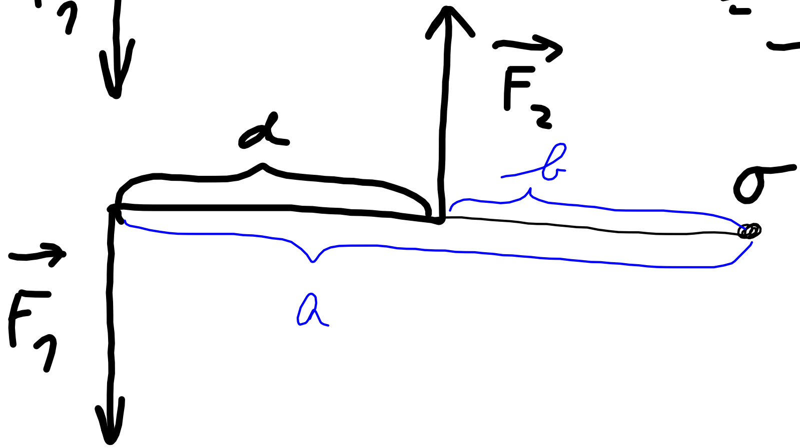
$$M = F_1 \cdot \frac{d}{2} + F_2 \cdot \frac{d}{2} = \frac{d}{2} \cdot (F_1 + F_2) =$$
$$= \frac{d}{2} \cdot 2F = \underline{F \cdot d}$$

c)



$$M = F_1 \cdot a + F_2 b = F \cdot a + F \cdot b = F\underbrace{(a+b)}_{d} = \underline{F \cdot d}$$

d)

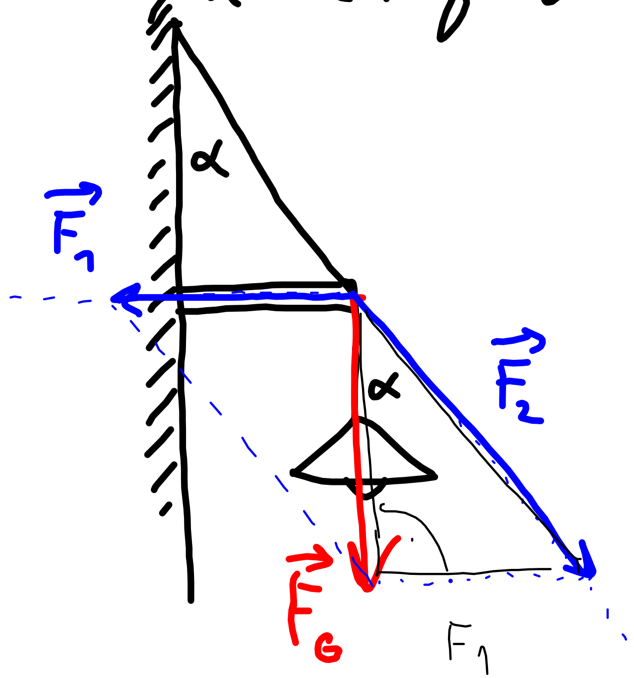


$$M = F_1 \cdot a - F_2 \cdot b = F \cdot a - F \cdot b = F\underbrace{(a-b)}_{d} = \underline{F \cdot d}$$

Rozklad sil

Př: str 159

$m = 2\,kg \quad \alpha = 30^\circ$



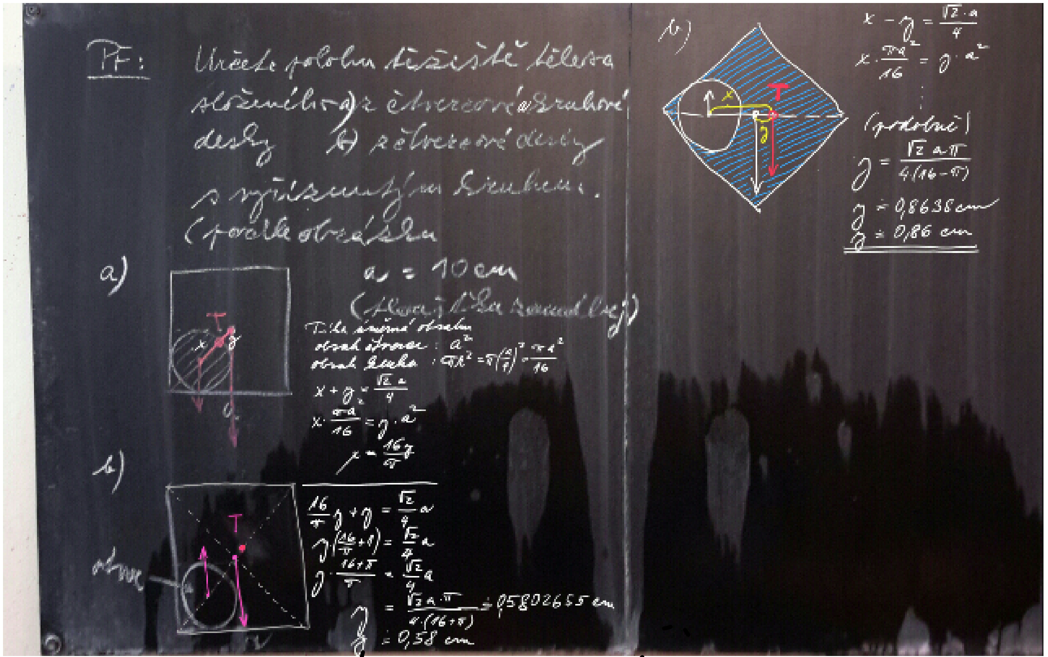
$$F_1 = F_G \cdot \operatorname{tg}\alpha = m \cdot g \cdot \operatorname{tg}\alpha \doteq 12\,N$$

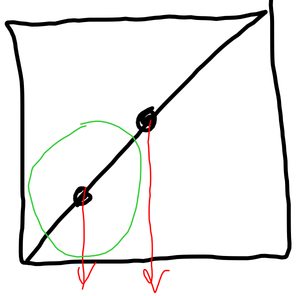
$$F_2 = \frac{F_G}{\cos\alpha} = \frac{mg}{\cos\alpha} \doteq 23\,N$$

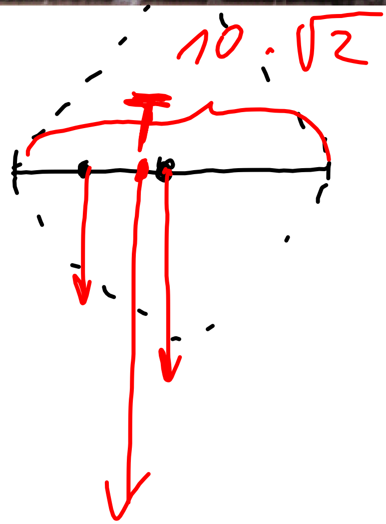
přečti si str. 161
+ rozmysli

26. 9. - těžiště

příklad (dokončení jako d.ú.)

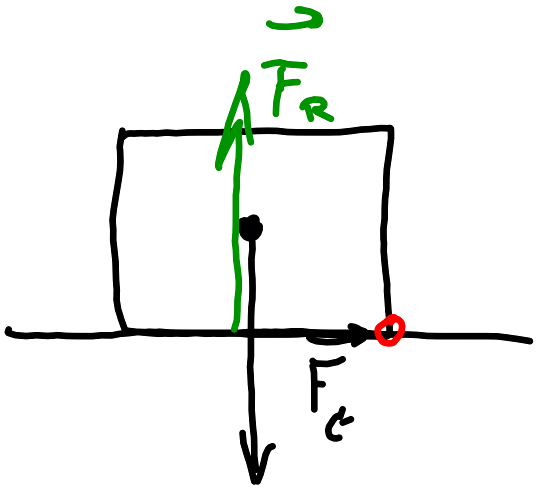






Stabilita těles

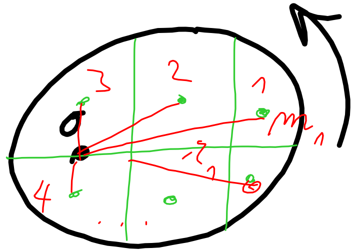
Stabilitu tělesa můžeme měřit prací...



$$\vec{F}_R + \vec{F}_G = \vec{0}$$

Př.: Spočtěte nemenší anejvětší práci potřebnou k otičení kvádruo rozměrech 5, 10 a 20 cm kolem jeho hrany tak, aby přešel z rovnovážné polohy stálé do rovnovážné polohy vratké. Hmotnost kvádtu je 100 kg.

Kin. energ. rotující tělesa



ω

$$E_K = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \ldots + \frac{1}{2} m_n v_n^2 =$$

$$= \frac{1}{2} m_1 \cdot r_1^2 \omega^2 + \frac{1}{2} m_2 r_2^2 \omega^2 + \ldots + \frac{1}{2} m_n r_n^2 \omega^2 =$$

místo v $r \cdot \omega$

$$= \frac{1}{2} \omega^2 \cdot \underbrace{\left(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \ldots + m_n \cdot r_n^2 \right)}_{J}$$

$J = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \ldots$ moment setrvačnosti tělesa

Moment setrvačnosti:

obruč o polom. R a hmotnosti m $\quad J = m \cdot R^2$

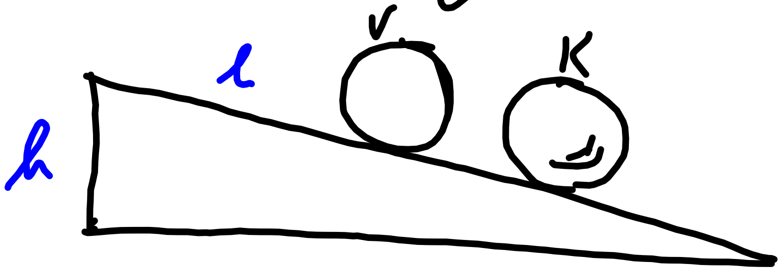
kruh. deska - válec " $\quad J_v = \frac{1}{2} m R^2$

koule $\quad J_K = \frac{2}{5} m R^2$

tyč délky l $\quad J_T = \frac{1}{12} m l^2$

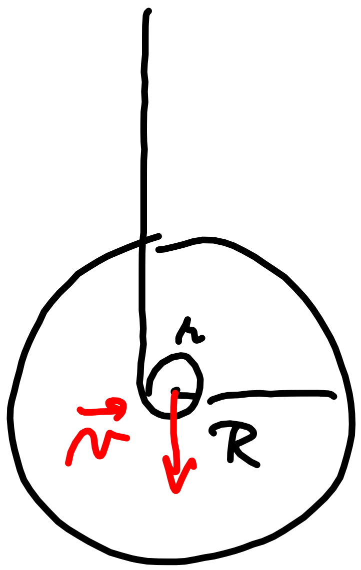
$$E_K = \frac{1}{2} J \omega^2$$

pokusy: válec se kutálí po nakl. rovině rychleji než koule.

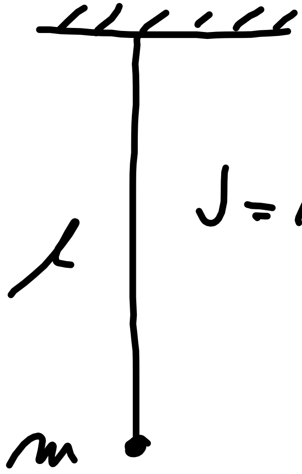


DÚ jakou rychlost dosáhne válec?

Розв.

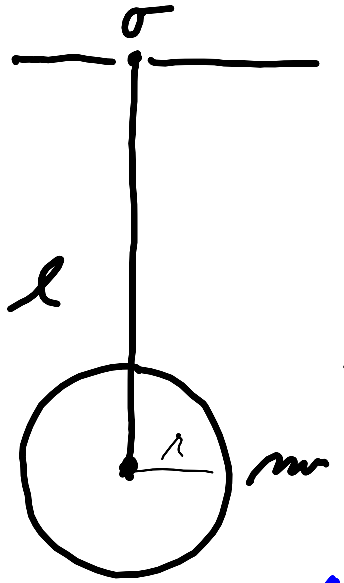


Př: moment setrvačnosti kyvadla



$J = m \cdot l^2$

hmotný bod



$$J = m \cdot l^2 + \frac{1}{2} m r^2$$

příští prověrka a mechanika tekutin (16/10) 2015

Hydromechanika – opakování NG ← DÚ

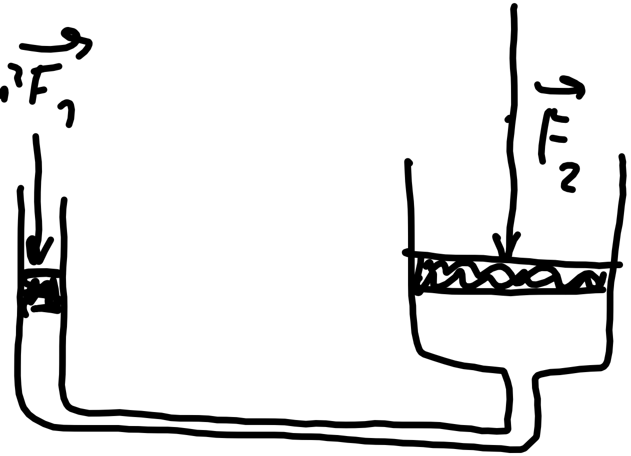
Př: uč/182

$S_1 = 5\,cm^2 = 0{,}0005\,m^2$

$S_2 = 400\,cm^2$

$F_1 = 500\,N$

$F_2 = ?$

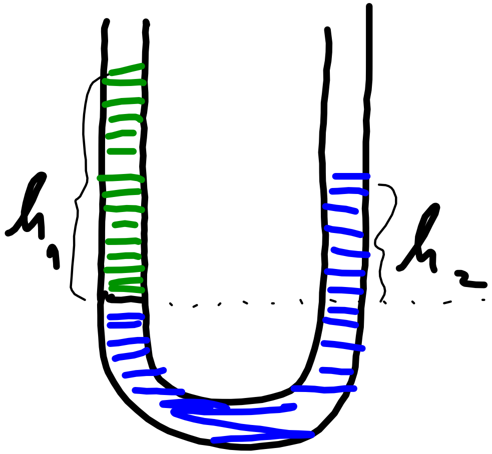


$$\frac{F_2}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1} = \frac{500 \cdot 400}{5} = 40\,000\,N = \underline{\underline{40\,kN}}$$

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{500}{5 \cdot 10^{-4}} = 10^6\,Pa = \underline{\underline{1\,MPa}}$$

Ú 5/185



$$h_2 = 4{,}5\ \text{cm}$$
$$h_1 = 5\ \text{cm}$$
$$\rho_2 = 1000\ \text{kg/m}^3$$
$$\rho_1 = ?$$

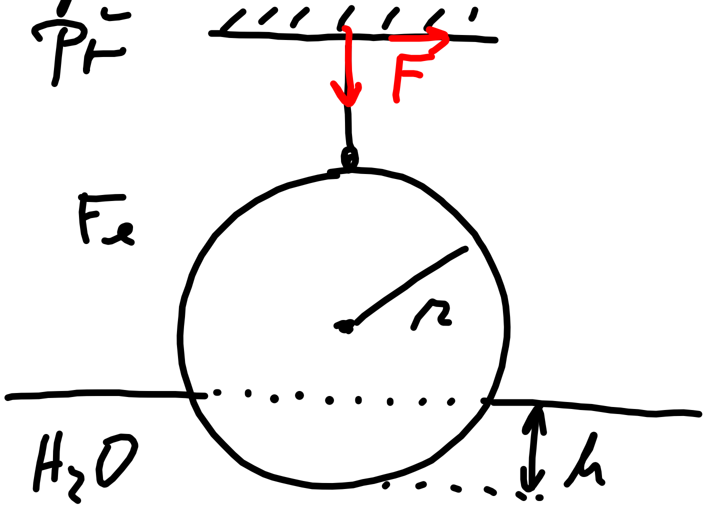
$$h_1 \rho_1 g = h_2 \rho_2 g$$

$$\rho_1 = \frac{h_2 \rho_2 \cancel{g}}{h_1 \cancel{g}}$$

$$\rho_1 = \frac{h_2}{h_1} \cdot \rho_2 = \frac{4{,}5}{5} \cdot 1000 = 0{,}9 \cdot 1000 =$$

$$= 900\ \text{kg/m}^3 \left(= 0{,}9\ \text{g/cm}^3\right)$$

Pozn.:



$r = 10\ cm$

$h = 5\ cm$

$F = ?$

(Jakou velkou silou napíná železná koule (podle obrázku) nit, na které visí?)

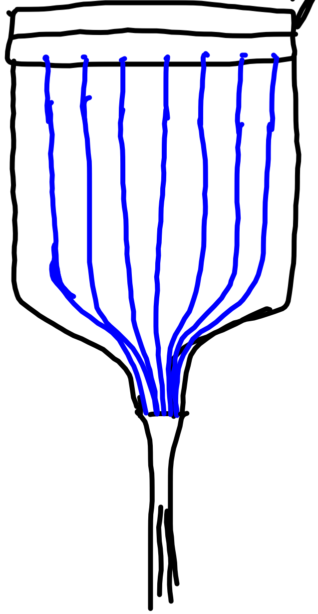
DÚ - úlohy z hydrostatiky (5/192)

Proudění kapalin a plynů

Ustálené proudění ... v daném místě je stálá rychlost proudění (velikost, směr)

proudnice ... trajektorie částice kapaliny

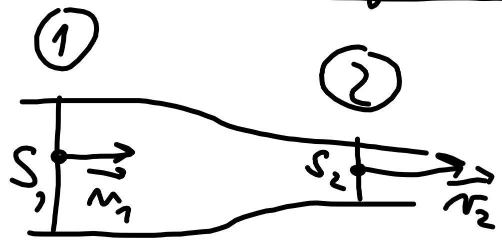
- v ustáleném proudění se nekříží



Proudová trubice – stěny jsou tvořeny proudnicemi

Proudové vlákno – kapalina, vymezená proudovou trubicí

Rovnice spojitosti



$$m_1 = m_2 \quad / \text{za } 1\,\text{s}$$

$$V_1 \cdot \rho_1 = V_2 \cdot \rho_2$$

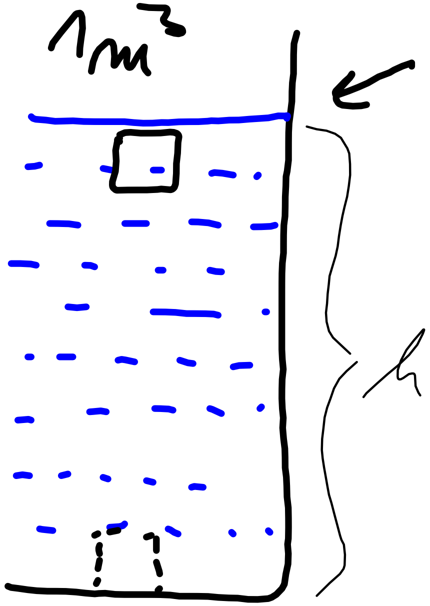
$$S_1 \cdot v_1 \cdot \rho_1 = S_2 \cdot v_2 \cdot \rho_2$$

pro $\rho_1 = \rho_2 = \rho$

$$\boxed{S_1 v_1 = S_2 v_2}$$

Příště: Bernoulliho rovnice (i samostatně)

Tlaková energie



$mgh \quad E_p = \rho \cdot g \cdot h$

hydrost. tlak:

$p = h \rho g$

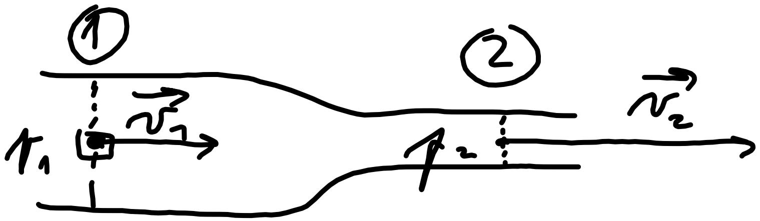
Tlaková energie objemové jednotky je číselně rovna tlaku.

(pozn: tlak. energie kapaliny o objemu V je:

$E_p = V \cdot p$)

Bernoulliova rovnice

(zákon zachování mechanické energie pro objemovou jednotku proudící kapaliny)



$$E_1 = E_2$$

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2$$

($\frac{1}{2}\rho_1 v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho_2 v_2^2 + p_2$ ... pro proudící plyn)

pro kapaliny $\rho_1 = \rho_2 = \rho$)

Když $v_2 > v_1$ pak $p_2 < p_1$ ... v místě se zvýšenou rychlostí (zúžení) klesne tlak.

pokus DÚ - podle učebnice - zpracování
a výpočty

Př: Spočtěte součinitel odporu automobilu, znáte-li max. rychlost, max. výkon a plochu čelního řezu.

$v = 155\ km/h$ $\quad \rho = 1{,}3\ kg/m^3$

$P = 48\ kW$

$S = 2{,}5\ m^2$

$$F = \frac{1}{2} C \rho S . v^2$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F . s}{t} = F . v$$

$$F = \frac{P}{v}$$

$$C = \frac{2 . F}{\rho S v^2}$$

$$C = \frac{2 . P}{\rho . S . v^3} \quad \dots \quad C = 0{,}37$$

Struktura a vlastnosti látek

(mechanické a tepelné vlastnosti látek)

- termodynamická metoda (vychází z makroskopického popisu jevů)
- statistická metoda (vychází z částicového složení látek)

<u>Kinetická teorie stavby látek</u>

Látka se skládá z částic

Částice jsou v <u>neustálém</u> chaotickém <u>pohybu</u>

opak. Difúze,

Brownův pohyb

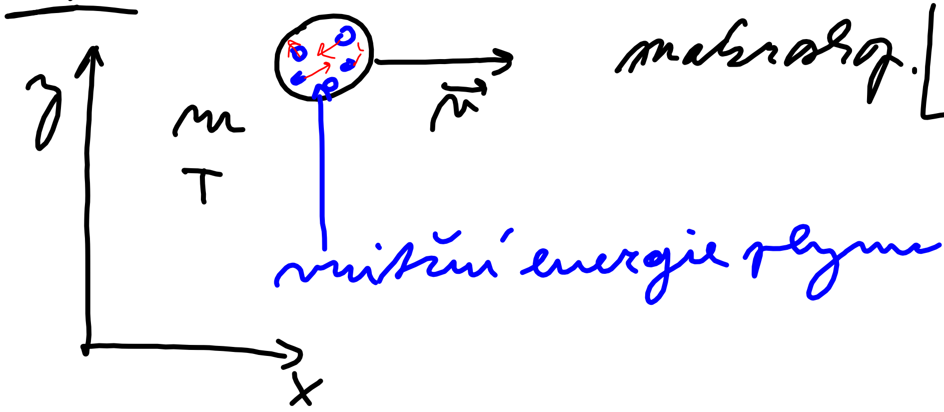
Tlak plynu - volné částice plynu narážejí na sebe a na stěny nádoby

(nárazy částic na stěny nádoby se projeví jako tlaková síla)

Vzájemné působení částic

Vnitřní energie, práce a teplo

PF: letící míč



makroskop. $\boxed{\frac{1}{2} m v^2}$

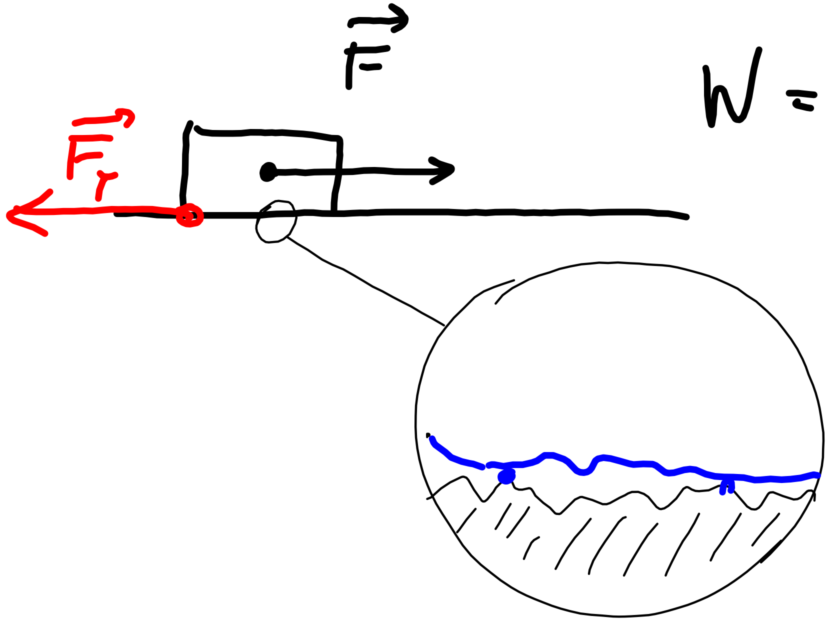
Vnitřní energie soustavy – celková kin. energie částic (neuspořádaného pohybu) a celková vzájemná potenciální energie částic

Ke změně vnitřní energie dochází

a) konáním práce

b) tepelnou výměnou

vznik tepla třením, nebo ztráty

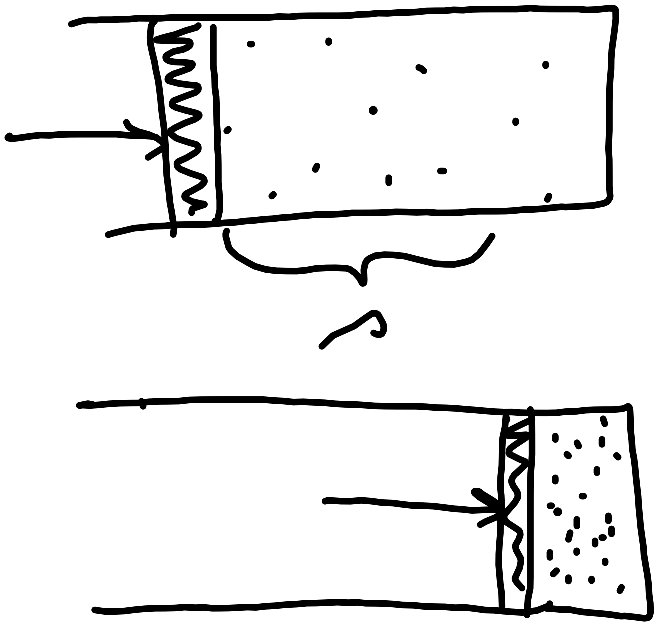


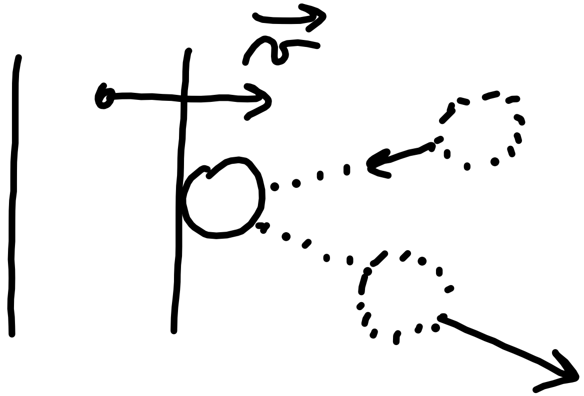
$$W = F \cdot s = Q$$

př. plyn ve válci uzavřený pístem

$F = p \cdot S$

$W = F \cdot s = Q$

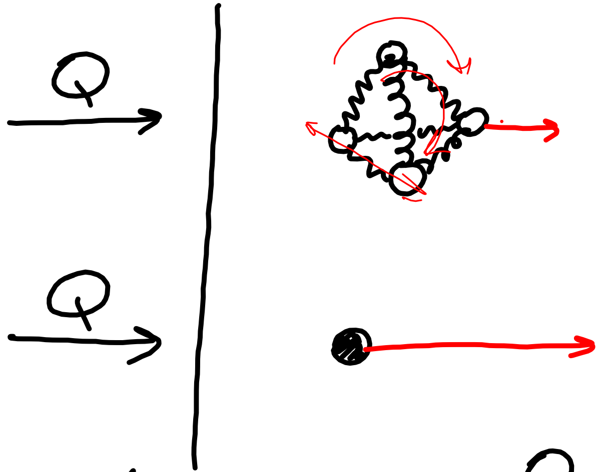




$W = \Delta U$

Změna vnitřní energie při tepelné výměně
(opak. z niž. gymnázia)

Tepelná kapacita ozn. C ; jedn. $J/kg\,K$
$(J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$



pomalé zvyšování teploty

rychlejší zvyšování teploty

tepelná kapacita $C = \frac{Q}{\Delta t}$ $\quad (Q = C \cdot \Delta t)$

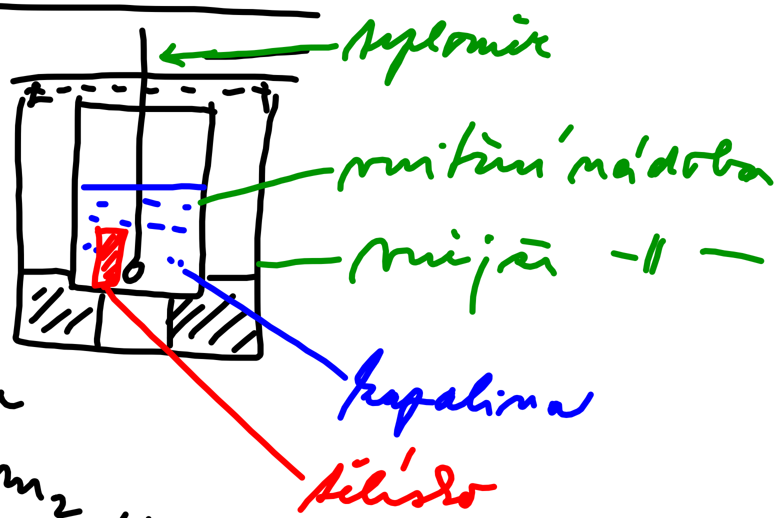
měrná tepelná kapacita $c = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$$

Kalorimetrická rovnice

Kalorimetr –



např. do kalorimetru s vodou o hmotnosti m_2 a teplotě t_2 vložíme tělísko o hmotnosti m_1 a tepl. t_1. Kapalina má měrnou tepelnou kapacitu c_2 a tělísko c_1 a C je tepelná kapacita kalorimetru. t je výsledná teplota.

Q_1 … množství tepla, které odevzdá tělísko

Q_2 … –||– které přijme kapalina s kalorimetrem

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$c_1 \cdot m_1 (t_1 - t) = c_2 \cdot m_2 \cdot (t - t_2) + C \cdot (t - t_2)$$

(nebo: $c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 \cdot (t_2 - t) + C(t_2 - t)$

pro $t_1 < t_2$; rovnice jsou ekvivalentní)

Př.: Spočtětě výslednou teplotu kalorimetru (o tepelné kapacitě 90 J/K) s 200g vody, do které ponoříme 100g hliníkovou kostlu o teplotě 60 °C. Počáteční teplota vody v kalorimetru je 20 °C a měrná tepelná kapacita hliníku je 896 J/kgK a vody 4200 J/kgK.

$c_1 =$ c_2 $C =$

$m_1 =$ m_2

$t_1 =$ t_2

$t =$

$c_1 = 896\ \text{J/kgK}$ $c_2 = 4200\ \text{J/kgK}$ $C = 90\ \text{J/K}$

$m_1 = 100\,g = 0{,}1\,kg$ $m_2 = 200\,g = 0{,}2\,kg$

$t_1 = 60\,°C$ $t_2 = 20\,°C$

$t = ?$

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (t_1 - t) = c_2 \cdot m_2 (t - t_2) + C (t - t_2)$$

$$896 \cdot 0{,}1 (60 - t) = 840 (t - 20) + 90 (t - 20)$$

$$89{,}6 (60 - t) = 930 (t - 20)$$

$$5376 - 89{,}6 t = 930 t - 18600$$

$$23976 = 1019{,}6 t$$

$$\underline{t = 23{,}52\,°C}$$

1. zákon termodynamiky (1. hlavní věta TD)

$$\Delta U = W + Q$$

změna vnitřní energie — práce vykonaná na soustavě — teplo dodané soustavě

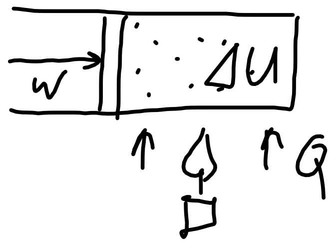
(jinak: „platí zákon zachování mech. energie"
„neexistuje perpetuum mobile 1. druhu")

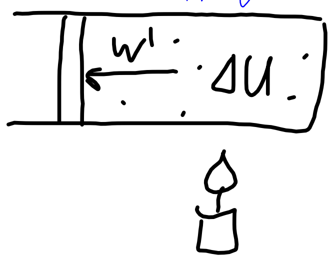
$$Q = \Delta U - W \qquad W' = -W$$

W' ... práce vykonaná soustavou

- $Q = \Delta U + W'$

(• množství tepla dodaného soustavě je rovno změně vnitřní energie soustavy a práce vykonané soustavou – plynem)





pozn.

pro $Q = 0$ ... nedochází k úplné výměně

jedná se o adiabatický děj

$$\underline{\Delta U = W}$$

<u>Př:</u> 1/64 (1/60)

$Q = 0$

$W' = 400\ J$

$(W = -400\ J)$

$\Delta U = W = -400\ J$

6/212 (1)

$c_{Pb} = 129\ J/kgK$

$v = 100\ m/s$

$\eta = 50\%$

$\Delta t = ?$

$\frac{1}{2} E_K = Q$

$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cancel{m} v^2 = c \cdot \cancel{m} \cdot \Delta t$

$\Delta t = \frac{v^2}{4 \cdot c}$

$\Delta t = \frac{10^4}{4 \cdot 129} \doteq 19{,}4\ ^\circ C$

Struktura a vlastnosti plynů

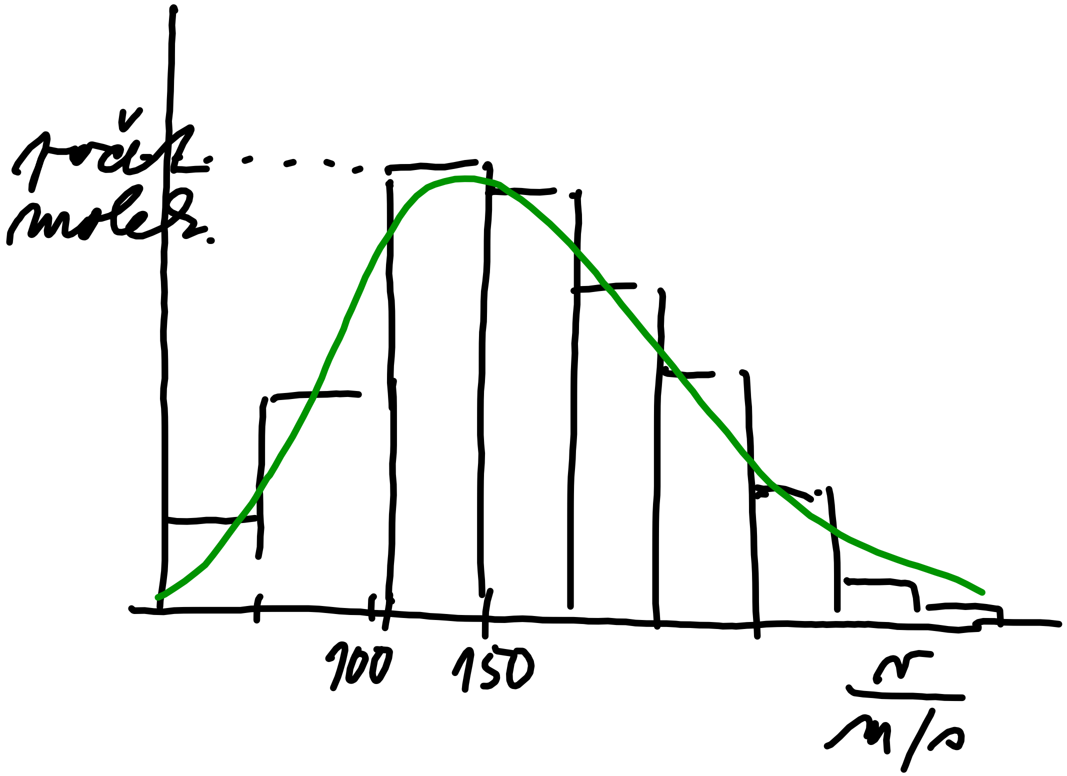
Ideální plyn

částice plynu

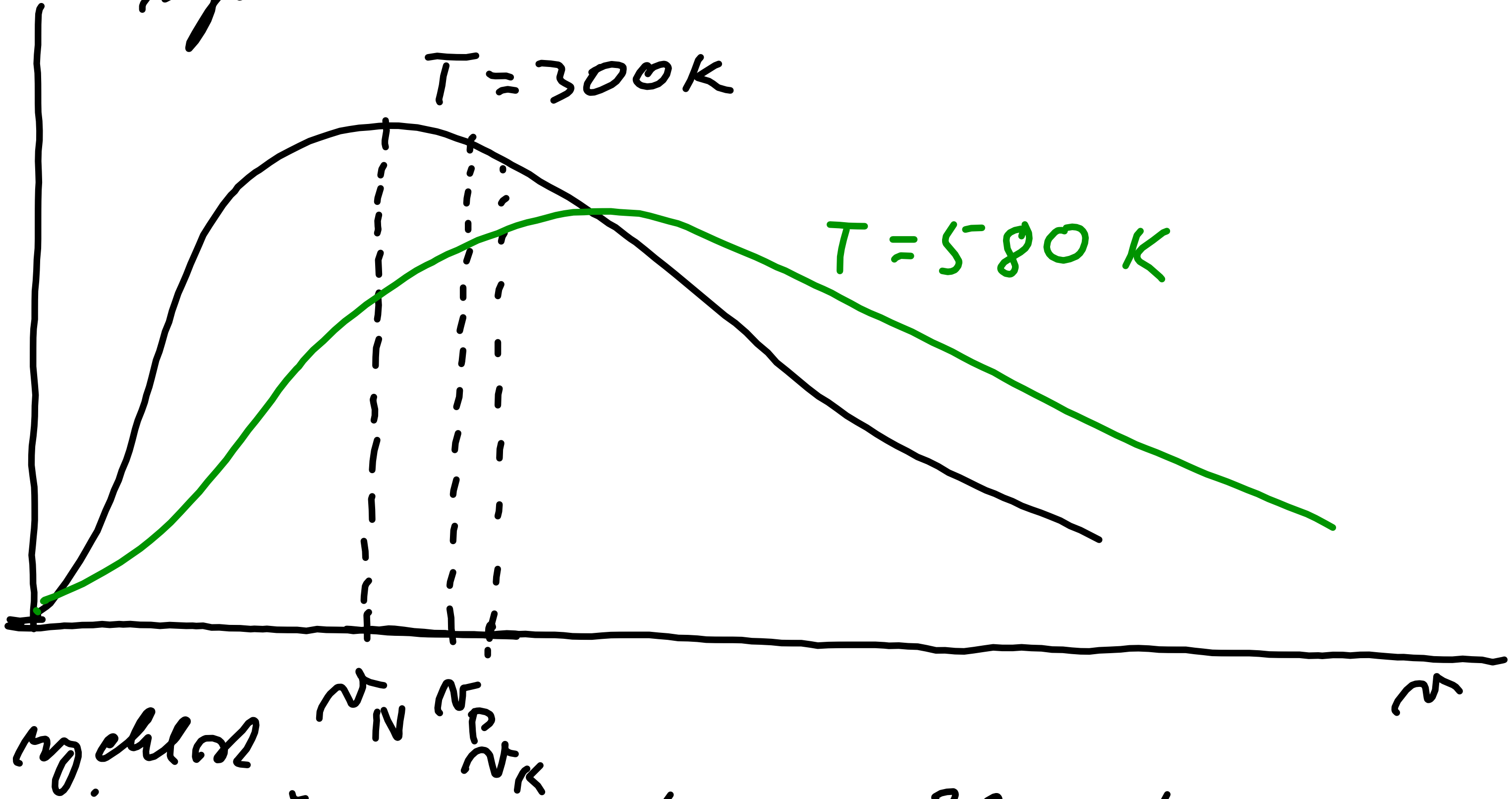
1. zanedbatelně malé (vzhledem ke střední vzdál.)
2. nepůsobí silově na dálku
3. dochází jen k dokonale pružným srážkám

Potenciální energie částic je nulová

Rozdělení molekul plynu podle rychlosti



kyslík 300 K



rychlost

nejpravděpodobnější $v_N = 395\ m/s$

průměrná $v_P = 445\ m/s$

střední kvadratická $v_K = 483\ m/s$

$$p \cdot V_0 = k \cdot T \quad / \cdot N_A$$

$$p \cdot V_m = R \cdot T \quad / \cdot n$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad / \cdot \frac{1}{T}$$

$$\frac{p \cdot V}{T} = n \cdot R = konst$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

p … tlak plynu
V_0 … objem připadající na jednu molekulu
k … Boltzmannova konst.
T … termodyn. teplota
N_A … Avogadrova konst
V_m … molární objem
R … molární plynová konst.
n … látkové množství
V … objem plynu

$k \doteq 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ $J \cdot K^{-1}$
$N_A \doteq 6{,}02 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}
$R \doteq 8{,}3$ $J \cdot K^{-1} mol^{-1}$

Př:

$p_1 = 10^5\,Pa$

$V_1 = 1{,}5\,l$

$T_1 \doteq 263\,K \quad (-10\,°C)$

$p_2 = ?$

$V_2 = 1{,}5\,l$

$T_2 = 296\,K \quad (23\,°C)$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{10^5 \cdot \cancel{1{,}5}}{263} = \frac{p_2 \cdot \cancel{1{,}5}}{296}$$

$$p_2 = \frac{296}{263} \cdot 10^5 = 1{,}125 \cdot 10^5\,Pa = \underline{112\,500\,Pa}$$

DÚ - úlohy podle učeb.

Ú 6/81 $V = ?$ CO_2 $n = ?$

$m = 1\,g$

$t = 21\,°C \doteq 294\,K$

$p = 1\,kPa$

$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

$V = \dfrac{n \cdot R \cdot T}{p}$

$V \doteq \dfrac{8{,}3 \cdot 294}{44 \cdot 1000} \doteq 0{,}0555\,m^3 = \underline{\underline{55{,}5\,l}}$

$M_m(CO_2) \doteq 12 + 2 \cdot 16 = 44\,\frac{g}{mol}$

$n = \dfrac{m}{M_m} = \dfrac{1}{44}\,mol$

Ú 2/83

$t_1 = 10°C = 283K$ $t_2 = ?$

V_1 $V_2 = \frac{V_1}{3}$

p_1 $p_2 = 4 \cdot p_1$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{p_1 V_1}{283} = \frac{4 p_1 \frac{V_1}{3}}{T_2}$$

$$\frac{p_1 V_1}{283} = \frac{4 p_1 V_1}{3 \cdot T_2} \quad \Big/ \cdot \frac{1}{p_1 \cdot V_1}$$

$$\frac{1}{283} = \frac{4}{3 \cdot T_2} \quad \Big/ \cdot T_2 \cdot 283$$

$$T_2 = \frac{4 \cdot 283}{3} \doteq 377{,}3\,K \doteq \underline{104{,}3\,°C}$$

<u>Tepelné děje</u> v plynu – děj, při nichž plyn prochází stavy termodynamické rovnováhy

<u>Izotermický děj</u> – děj v plynu, při němž je stálá teplota

T ... stálá

p, V ... se mění

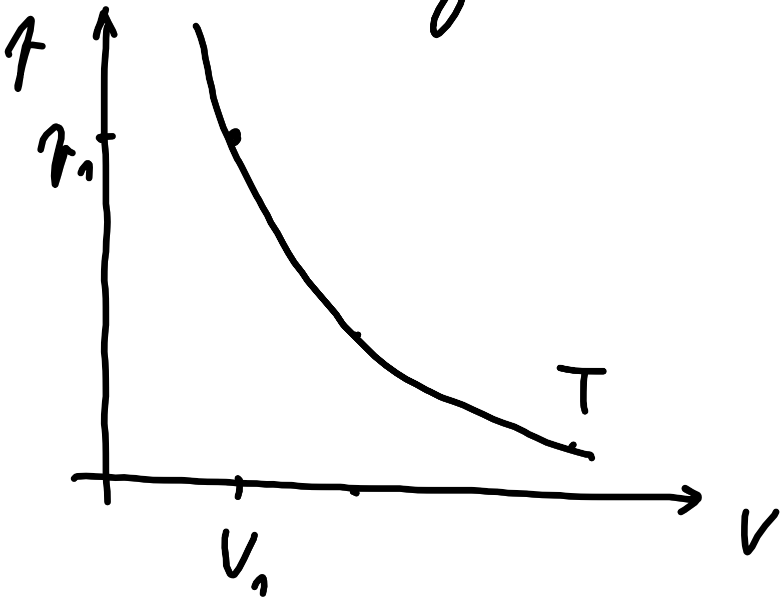
$$p \cdot V = \underbrace{n \cdot R \cdot T}_{\text{konst}}$$

$$p \cdot V = \text{konst.}$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{konst}$$ (Boylův - Mariottův zákon)

Při stálé teplotě je součin tlaku a objemu stálý.

$p - V$ diagram



grafem (izoterm. děj v $p-V$ diagramu) je izoterma

Izochorický děj - děj, při kterém se nemění objem plynu

V ... konst.

p, T ... se mění

$V_1 = V_2$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{konst.}$$

Tepelné děje z hlediska energie

$\vdots$

$$Q = \Delta U + W$$

ΔU ... změna vnitřní energ.

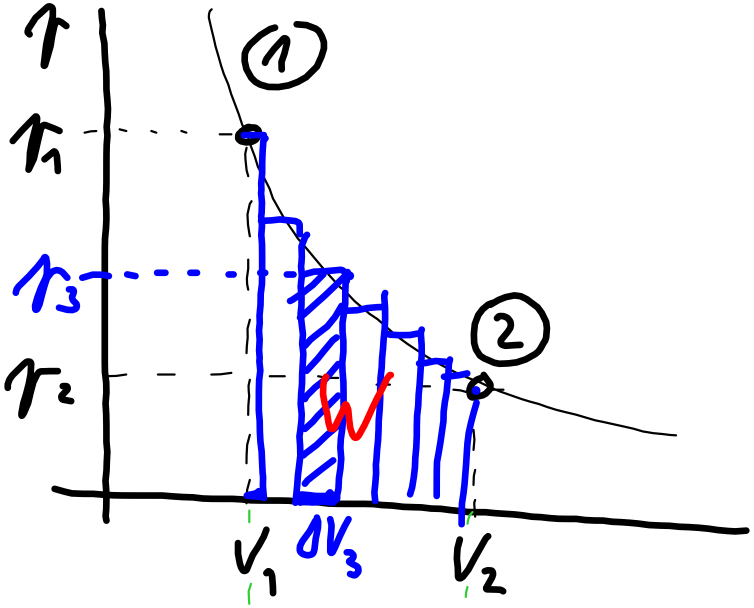
Q ... množství tepla dodané plynu

W ... práce vykonaná plynem

izotermický děj T ... konst. $\Rightarrow \Delta U = 0$

$$Q = W$$

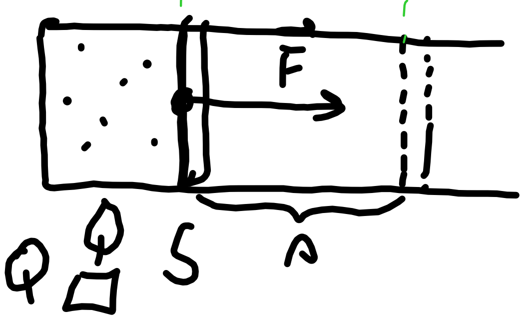
$Q = W$



plochy obdélníčků odpovídají přírůstkům práce plynu

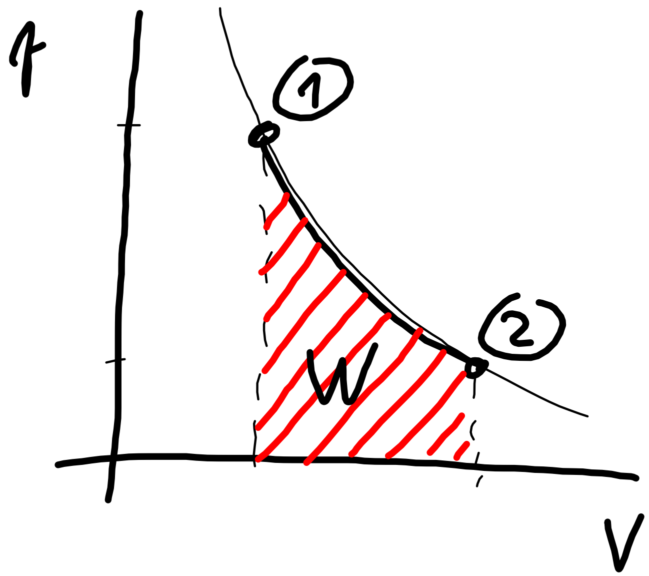
$\Delta W_i = p_i \cdot \Delta V_i$

V | Plocha pod křivkou v p-V diagramu se číselně rovná práci plynu



$W = F \cdot s = p \cdot S \cdot s = p \cdot \Delta V$ pro konst. tlak

zvětšení objemu



$$Q = W$$

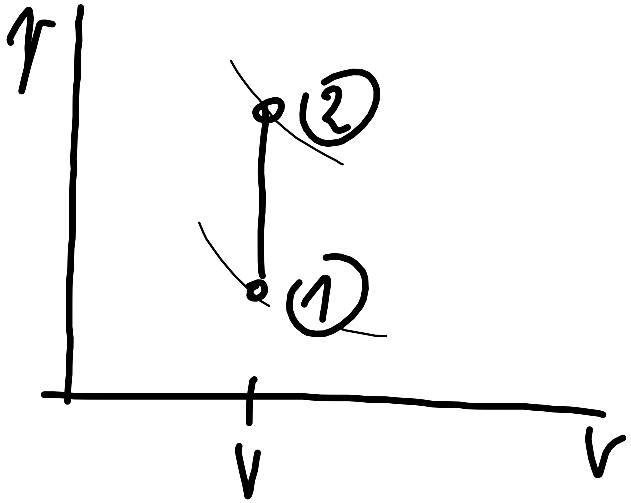
<u>Izochorický děj</u> $V = konst \Rightarrow \Delta V = 0$

- plyn nekoná práci

$$Q = \Delta U$$

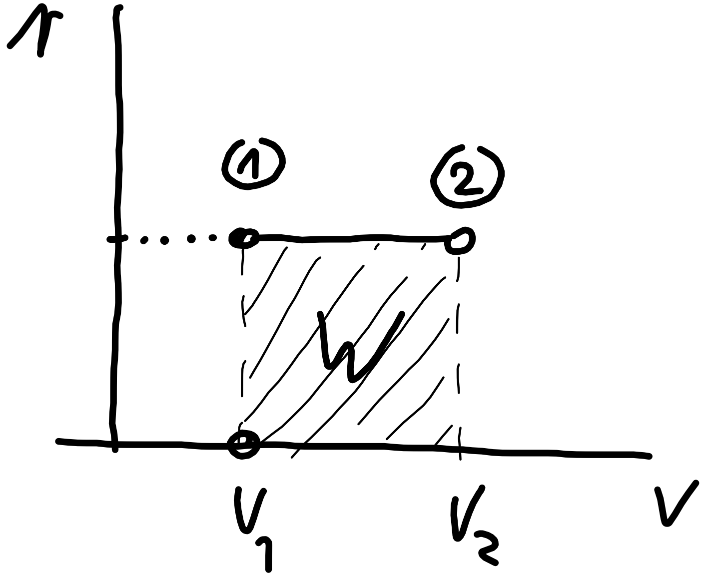
$$Q_V = c_V \cdot m \cdot \Delta T$$

c_V ... měrná tepelná kapacita při stálém objemu



Izobarický děj

$p = \text{konst}$



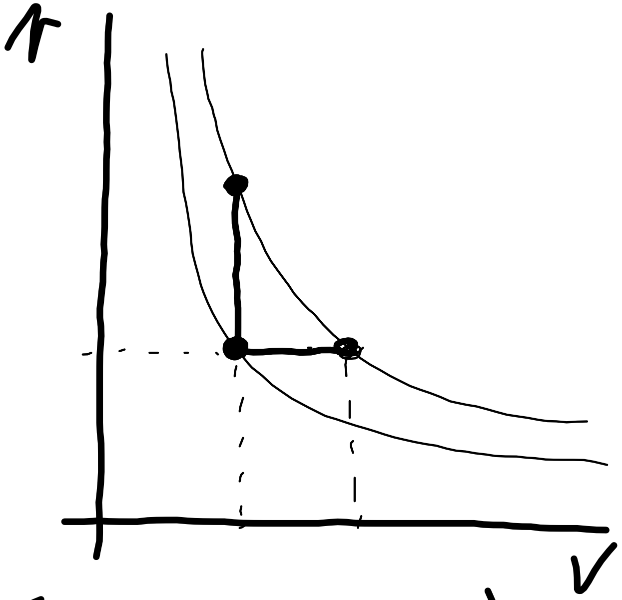
$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = p \cdot (V_2 - V_1)$$

$$Q_p = \Delta U + W$$

$$Q_p = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

c_p ... měrná tepelná kapacita při stálém tlaku



$$\Delta U_v = \Delta U_p$$

$$Q_v = Q_p - W$$

$$c_v \cdot m \cdot \Delta T = c_p \cdot m \cdot \Delta T - W$$

$$c_p \cdot m \cdot \Delta T = c_v \cdot m \cdot \Delta T + W$$

$$Q_p = Q_v + W$$

$$c_p > c_v$$

$$(\Delta U = Q - W)$$

⋮

adiabat. děj

⋮

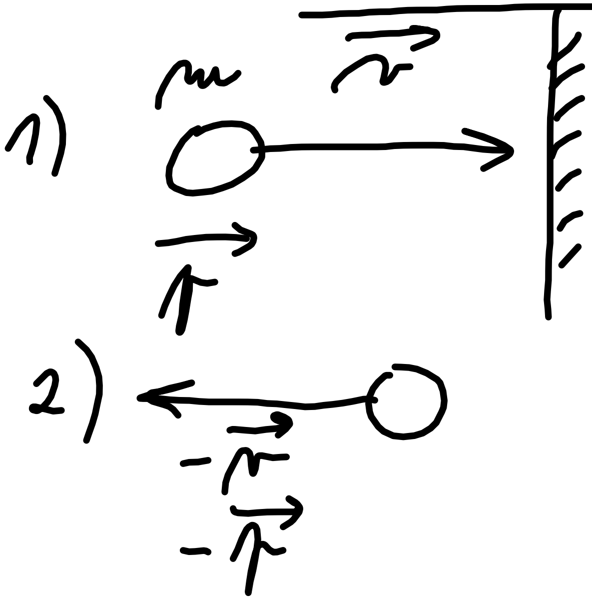
19/2 - previerka

opak.

ú 5/78 $\Delta p = ?$

O_2

$v = 461\ m/s$



$\vec{p}_1 = \vec{p}$

$\vec{p}_2 = -\vec{p}$

$\Delta p = p_2 - p_1 = -2p$

$|\Delta p| = 2 \cdot p = 2 \cdot mv$

4/217

$\vartheta_1 = 0°C \doteq 273\,K$

$V_1 = 5\,l$

$\vartheta_2 = 100°C = 373\,K$

$V_2 = ?$

p ... konst

$$\left(\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \right)$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

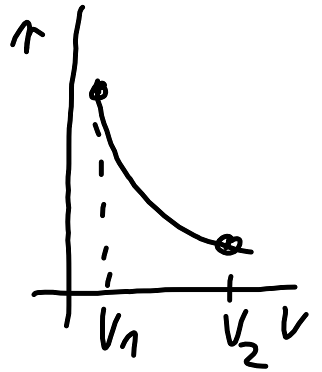
$$V_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot V_1 = \frac{373}{273} \cdot 5 \doteq \underline{\underline{6{,}83\,l}}$$

6/218 T... állandó

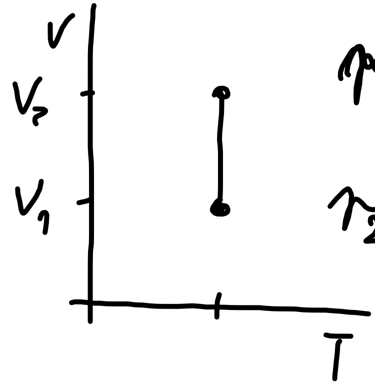
(1) V_1

(2) V_2

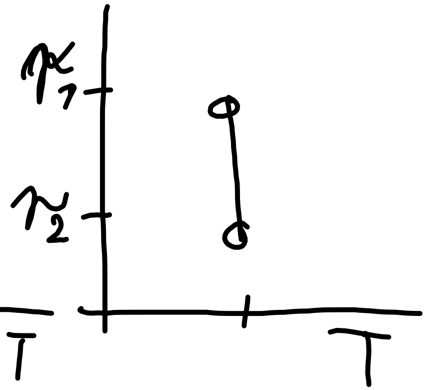
p - V



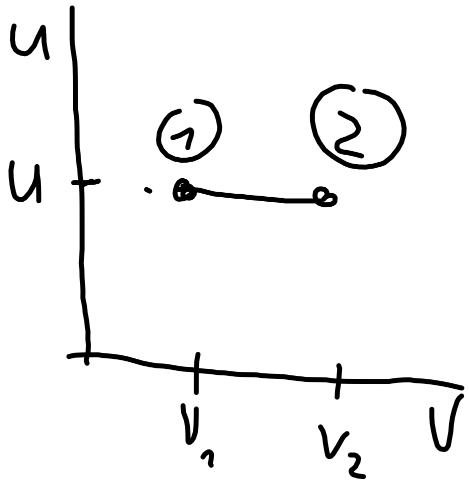
V - T



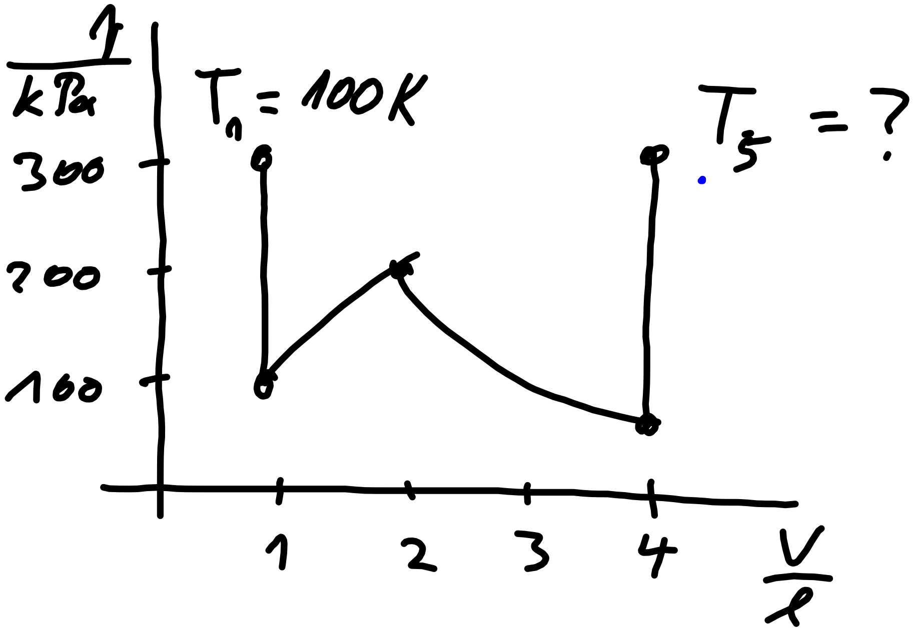
p - T



U - V



př. děj je znázorněn v p-V diagr.



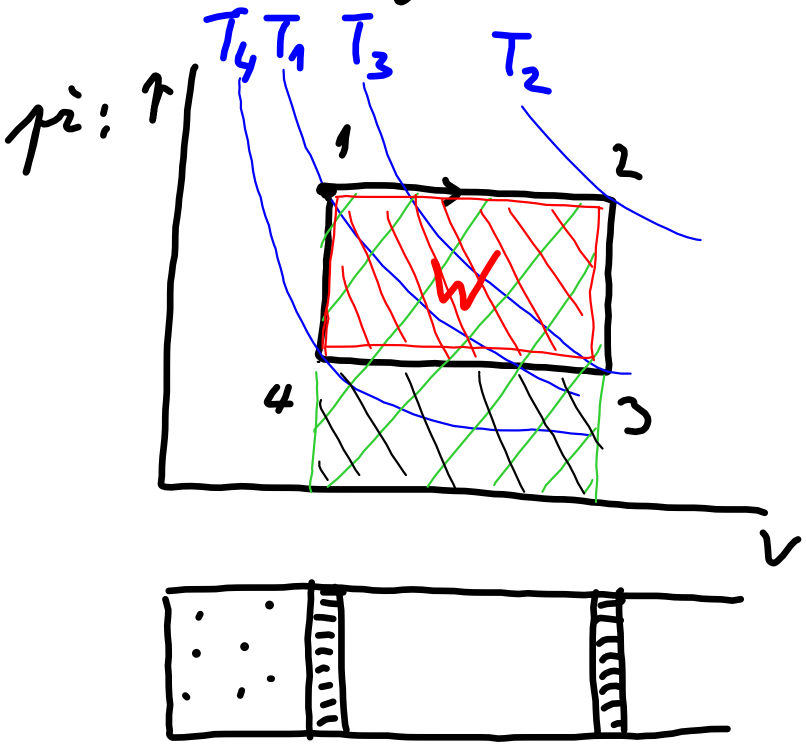
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_5 V_5}{T_5}$$

$$T_5 = \frac{p_5 V_5}{p_1 V_1} \cdot T_1 =$$

$$= \frac{300 \cdot 4}{300 \cdot 1} \cdot 100 = 400\,K$$

Kruhový děj – děj, při kterém se plyn dostane opět do původního stavu

– práce plynu při kruh. ději



1–2 dodáváme teplo, plyn koná práci

2-3 ochlazení (plyn nekoná práci)

3-4 ochlazení, plyn přijímá práci

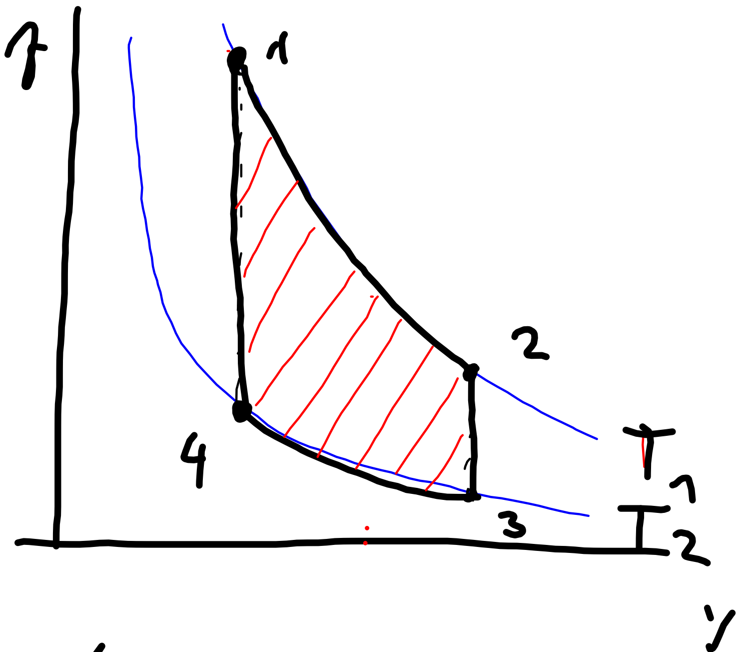
4–1 zahřívání (plyn nekoná práci)

W - užitečná práce plynu

W 1–2

W 3-4

pozn.



Q_1 teplo dodané plynu
1 – 2

Q_2 teplo odebrané plynu
3 – 4

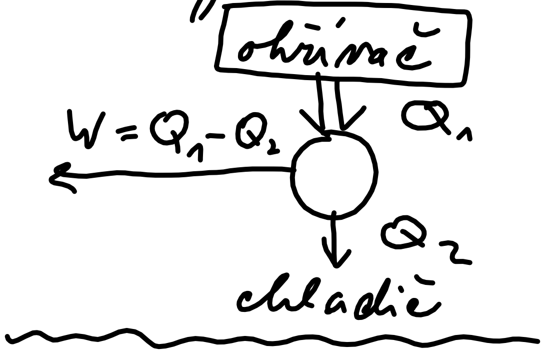
T_1 ... teplota ohřívače
T_2 ... teplota chladiče

účinnost:

$$\eta = \frac{W_{12} - W_{34}}{W_{12}} = \dots = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Druhý zákon termodynamiky

Tepelné stroje pracují tak, že část přijatého tepla přemění na práci a zbytek odevzdají chladiči.



znění: není možné sestrojit...

nebo: neexistuje perpetuum mobile
2. druhu

... Tepelné motory

⋮

Proudový motor

⋮

Struktura a vlastn. pev. látek

⋮

elementární částice

Typy vazeb (zjednodušení)

vodíková – vodíkový můstek (H_2O, org. l.

kovová – elektronový plyn (vodivost el. tepl.)

iontová – soli

kovalentní – diamant; – směrová

Van der Waalsova – slabá

Mřížkové poruchy

– reálné krystaly se od ideálních liší poruchami:

Bodové – vakance – chybějící atom

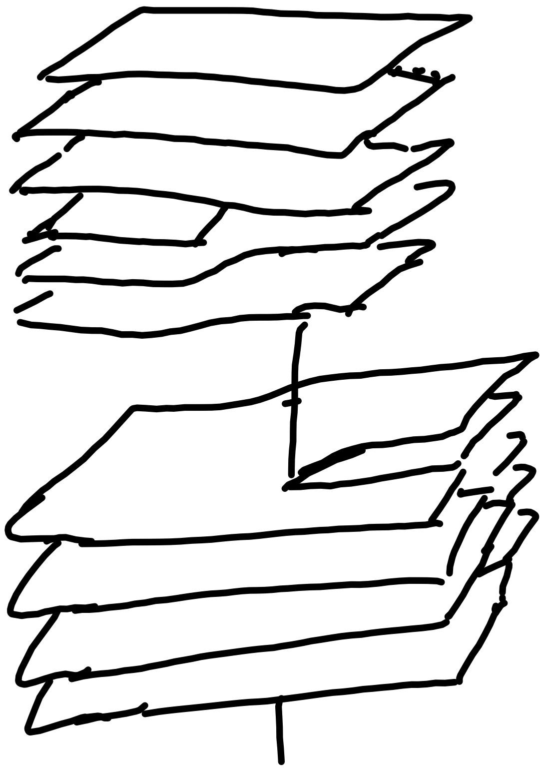
– intersticiální poloha – atom v nemřížkové poloze

– příměs – cizí atom

obr. DÚ

poruchy čárové – porucha v celé řadě bodů (dislokace)

dislokace – hranová



šroubová

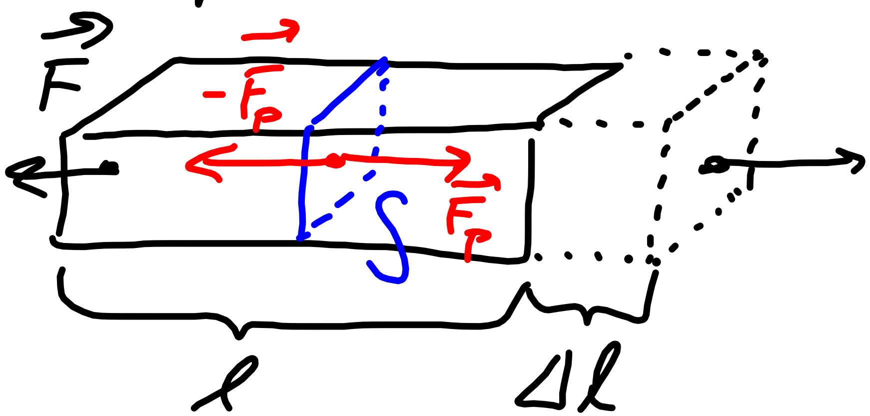
Deformace

- změna tvaru (objemu) způs. účinkem vnějších sil

Deformace
- tahem
- tlakem
- ohybem
- smykem (střihem)
- kroucením

↓ 18/3 16

... deformace tahem



F_p ... síla pružnosti

S ... plocha kolmého řezu

l ... pův. délka

Δl ... prodloužení

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ ... relativní prodloužení

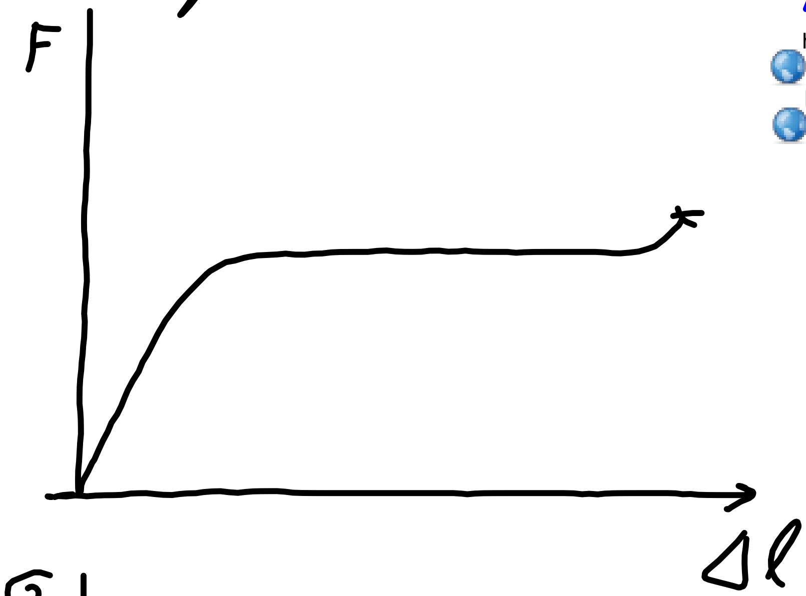
normálové napětí $\sigma_n = \frac{F_p}{S}$

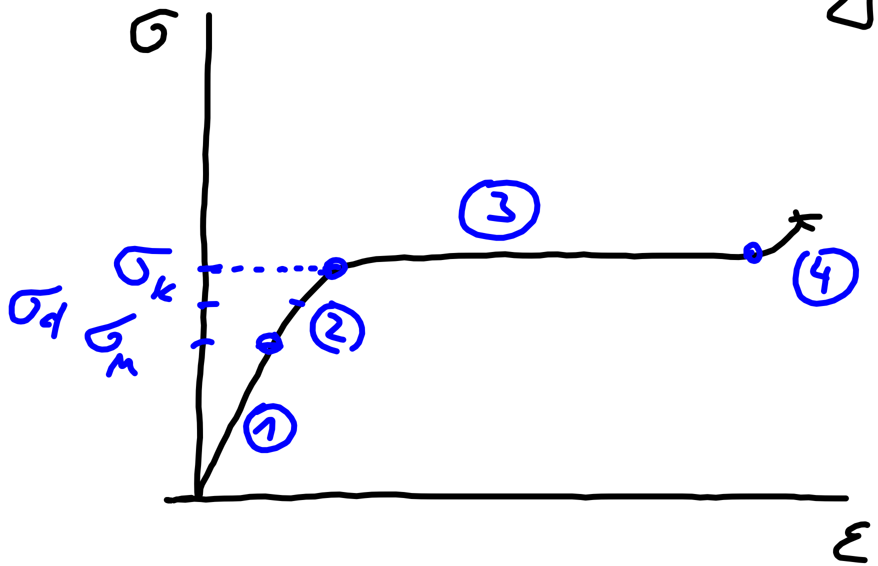
Křivka deformace

... viz teorie & lab. měření :

http://v.smid.sk/fyzika/scr/tabule_normalove-napeti.jpg

http://v.smid.sk/fyzika/2x1/PL-deformacni_krivka.pdf





① $\sigma = E \cdot \varepsilon$

... H.Z.

DÚ ... příklady na Hookův zákon

Př.: Vypočtěte prodloužení ocelové struny (o průměru 0,2 mm a délce 60 cm) při dosažení meze úměrnosti.

$\boxed{\Delta l = ?}$ ocel: $\sigma_u = 310$ MPa

$l = 0{,}6$ m $E = 210$ GPa

$r = 0{,}1$ mm $= 10^{-4}$ m $(\sigma_p = 1760$ MPa$)$

$$\left(\sigma_u = \frac{F_u}{S} = \frac{F_p}{\pi r^2} \right) \qquad \Delta l = \varepsilon \cdot l$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\sigma = \sigma_u \Rightarrow \sigma_u = E \cdot \frac{\Delta l}{l} \Rightarrow \Delta l$$

Př.: Vypočtěte prodloužení ocelové struny (s průměrem 0,2 mm a délce 60 cm) při dosažení meze úměrnosti.

$\Delta l = ?$ ocel: $\sigma_u = 310\ \text{MPa} = 310 \cdot 10^6\ \text{Pa}$

$l = 0{,}6\ \text{m}$ $E = 210\ \text{GPa} = 210 \cdot 10^9\ \text{Pa}$

$r = 0{,}1\ \text{mm} = 10^{-4}\ \text{m}$ $(\sigma_p = 1760\ \text{MPa})$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \Rightarrow \Delta l = l \cdot \varepsilon$$

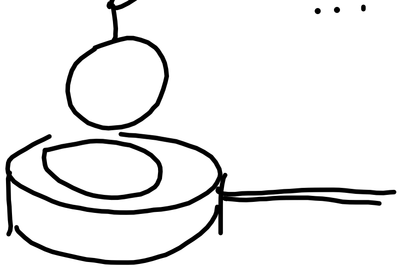
$$\boxed{\sigma_u = E \cdot \varepsilon} \Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma_u}{E} \quad \ldots \sigma_u = \sigma_u = 310\ \text{MPa}$$

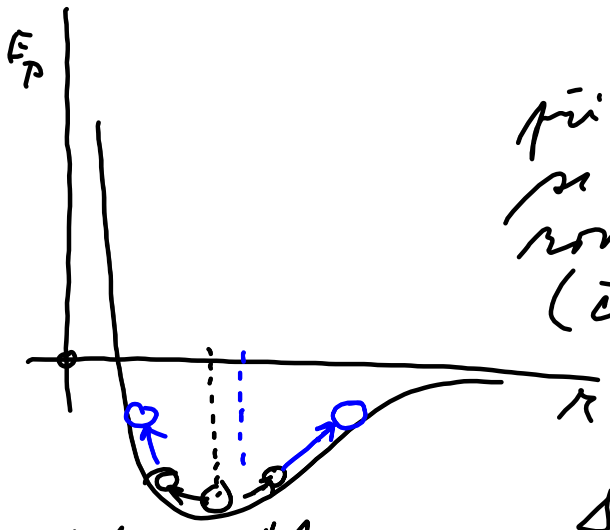
$$\Delta l = l \cdot \varepsilon = l \cdot \frac{\sigma_u}{E} = 0{,}6 \cdot \frac{310 \cdot 10^6}{210 \cdot 10^9} \doteq 0{,}8 \cdot 10^{-3}\ \text{m} = 0{,}8\ \text{mm}$$

$0{,}885\ \text{mm}$.

Teplotní roztažnost

pokus: ...





při zvýšení teploty se zvětší vzdálenost rovnovážných poloh (částic v krystalu)

$\Delta l \sim \Delta t$

$\Delta l = \alpha \cdot l_1 \cdot \Delta t$

$\Delta l = l_1 - l$

l ... poč. délka

Konečná dohoda o avizování zkoušení a psaní písemek. 5.4.2016

O kolik stupňů musíme zahřát železný drát o délce 75 cm, aby se "ručička" otočila o 1/8 otáčky? (Ručička je na jehle, střed jehly se posune o 1/8 obvodu, horní okraj jehly 2x více.)

$d = 1{,}18\ \mathrm{mm}$ $\qquad o = \pi \cdot d$

$l_1 = 0{,}75\ \mathrm{m}$ $\qquad \alpha = 11 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}$

$\Delta l = \frac{1}{4} o$ $\qquad t_1^{Fe} = 20\ °\mathrm{C}$

$\Delta t = ?$

$\Delta l = \alpha \cdot l_1 \cdot \Delta t$ $\qquad \Delta l = \frac{1}{4} o = \frac{\pi d}{4}$

$\frac{\pi d}{4} = \alpha\, l_1\, \Delta t$

$\Delta t = \frac{\pi d}{4 \alpha \cdot l_1} = \ldots \doteq 112\ \mathrm{K}$

Teplotní objemová roztažnost

pro objem krychle o hraně a :

$$a = a_1 \cdot (1 + \alpha \Delta t)$$

$$V = a^3 = a_1^3 \cdot (1 + \alpha \Delta t)^3 =$$

$$a_1^3 \cdot (1 + 3\alpha \Delta t + \underbrace{3\alpha^2 \Delta t^2 + \alpha^3 \Delta t^3}_{\doteq 0}) \doteq a_1^3 \cdot (1 + 3\alpha \Delta t)$$

$$V = V_1 \cdot (1 + \underbrace{3\alpha}_{\beta} \Delta t)$$

$\beta = 3\alpha$ ... teplotní součinitel objemové roztažnosti

12/4

Př.: $V_0 = 45\ l$ $(1\ °C \doteq 1\ K)$

$\beta = 0{,}001\ K^{-1}$

$\Delta t = 20\ K$

$V \doteq 45{,}9\ l$

$\Delta V = 0{,}9\ l$

– příště opět zde!! 19/4

Dú (12/4)

Jaké vznikne normálové napětí v ocelové struně, která je volně natažená, přitom pevně uchycená na koncích při teplotě 20°C, jestliže ji ochladíme na teplotu 0 °C?

... Anomálie vody - viz oakování z tercie:

Anomálie vody

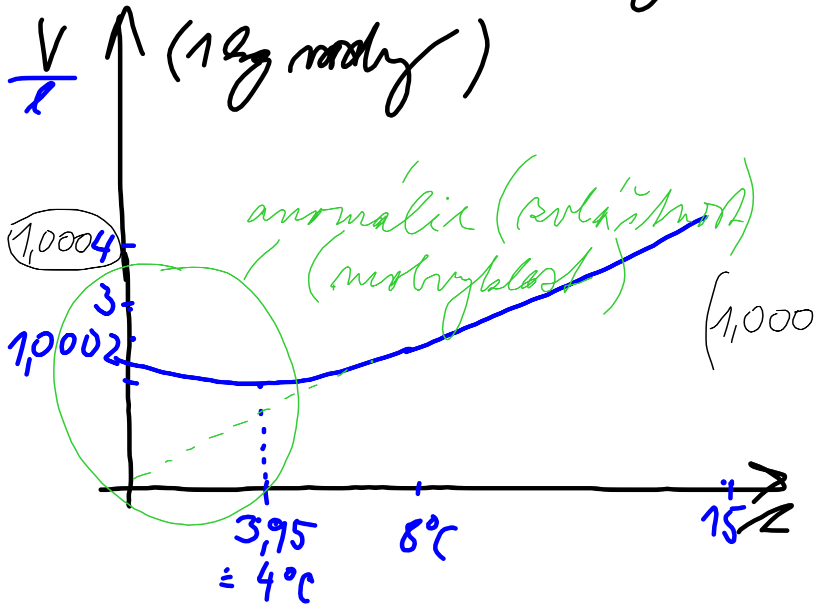
(odlišnost od normálu, neobvyklost, zvláštnost)

- většina látek při tuhnutí zmenší svůj objem (pevná látka ve své tavenině klesá ke dnu.)
- u vody je tomu naopak – led plave

Při rostoucí teplotě objem látek roste a teplá kapalina stoupá k hladině

- u teplé vody také, ale
- u studené vody je to naopak

Závislost objemu 1 kg vody na teplotě

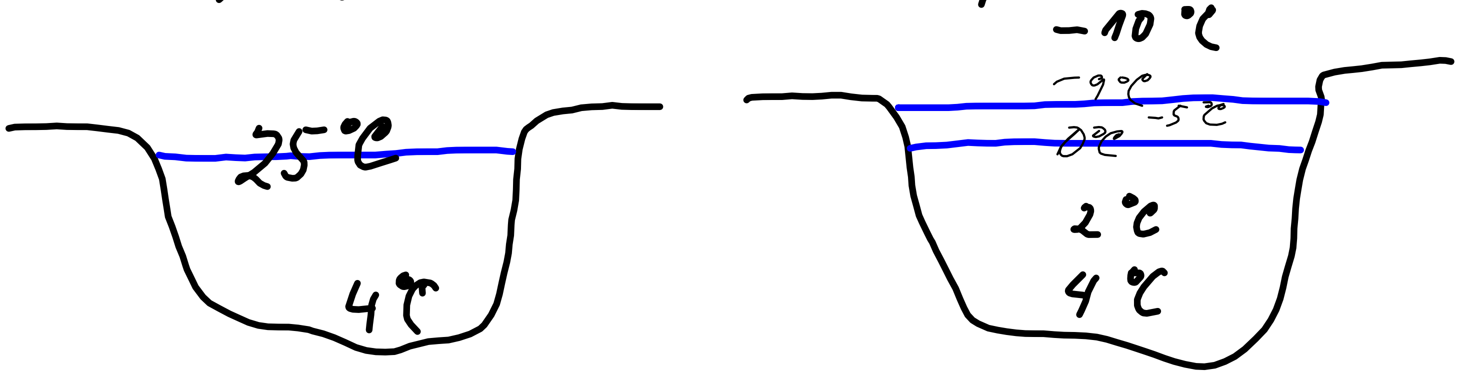


(1,0004 l = 1 l + 0,4 ml)

anomálie vody reguluji teplotu vody u dna (hlubokých) vodních nádrží

- voda mrzne od hladiny

léto zima

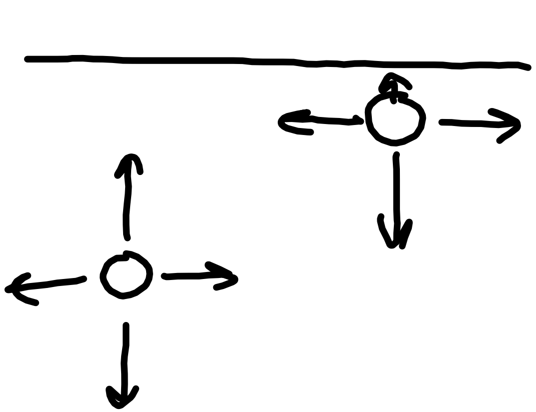


voda – regulátor teploty v přírodě

... konec poznámek z tercie

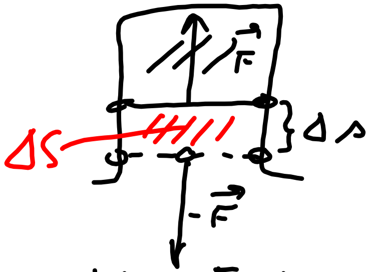
Struktura a vlastnosti kapalin

Povrchová vrstva kapalin



při přemístění molekuly na povrch kapaliny konáme (proti přitažlivým silám) práci
- částice na povrchu kapaliny mají vyšší potenc. energ.

$\sigma = \frac{F}{l}$ viz. Fcv 10



$$l \cdot \Delta s = \Delta S$$

$$W = F \cdot \Delta s = l \cdot \sigma \cdot \Delta s = \sigma \cdot \Delta S$$

$$\Delta E = \sigma \cdot \Delta S$$

$$\underline{E = \sigma \cdot S}$$

př: Spočtěte povrchovou energii mýdlové bubliny o poloměru 2 cm.
($\sigma = 18\ mN/m$; – dvě vrstvy)

$r = 2\ cm = 2 \cdot 10^{-2}\ m$

$\sigma = 18\ mN/m = 18 \cdot 10^{-3}\ N/m$

$E = \sigma \cdot S = \sigma \cdot 2 \cdot 4\pi r^2 = 18 \cdot 10^{-3} \cdot 8\pi \cdot 4 \cdot 10^{-4}\ J$

$E = \underline{\underline{1{,}8 \cdot 10^{-4}\ J}} = 0{,}18\ mJ$

Spočtěte tlak uvnitř bubliny

$p = 2p_K = \frac{2 \cdot 2\sigma}{r} = \frac{4 \cdot 0{,}018}{2 \cdot 10^{-2}} = 0{,}036 \cdot 10^{2} = \underline{3{,}6\ Pa}$

$$V = 1\,ml = 10^{-6}\,m^3$$

$$d = 0{,}1\,mm$$

$$r = 0{,}05\,mm = 5\cdot 10^{-5}\,m$$

$$E = \sigma \cdot S$$

$$S = n \cdot 4\pi r^2 = \frac{3V \cdot 4\pi r^2}{4\pi r^3} = \frac{3V}{r} = \frac{3\cdot 10^{-6}}{5\cdot 10^{-5}} =$$

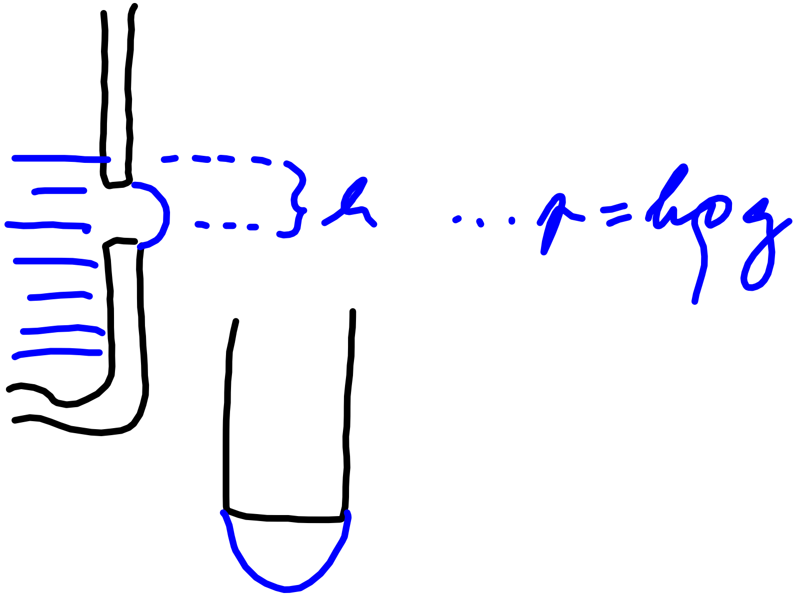
$$= 0{,}6\cdot 10^{-1}\,m^2 = \underline{6\cdot 10^{-2}\,m^2}$$

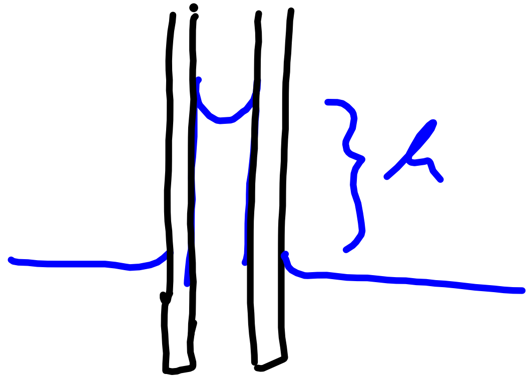
$$n = \frac{V}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3V}{4\pi r^3}$$

$$E = 0{,}074 \cdot 6\cdot 10^{-2} = \underline{\underline{4{,}44\cdot 10^{-3}\,J}}$$

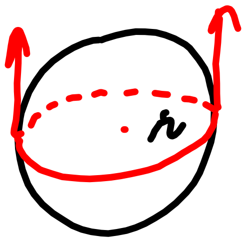
počet kapek $n = \dfrac{1\,ml}{\text{objem jedné kapky}}$

Kapilární tlak





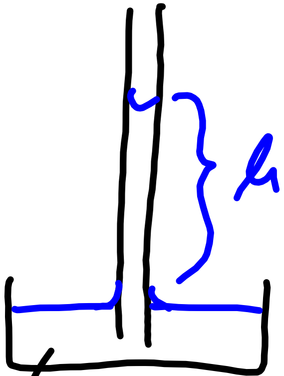
tlak v bublině



$$p = \frac{F}{S} = \frac{2\pi r \cdot \sigma}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r}$$

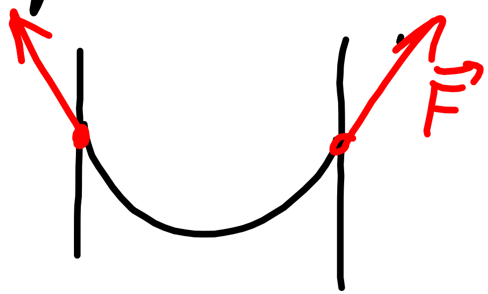
kapilární tlak: $\underline{\underline{p_K = \frac{2\sigma}{r}}}$

Kapilární jevy (na rozhraní)



voda

kapilární elevace

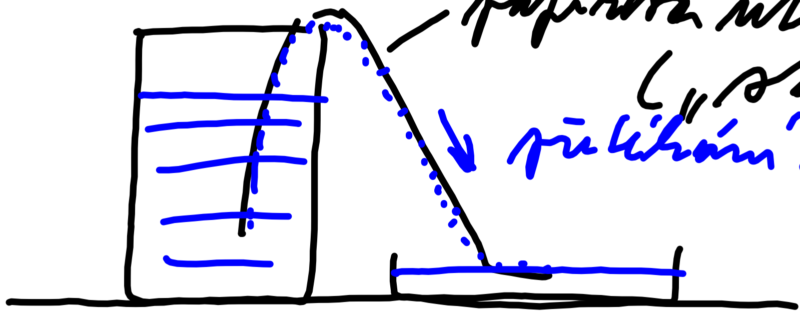


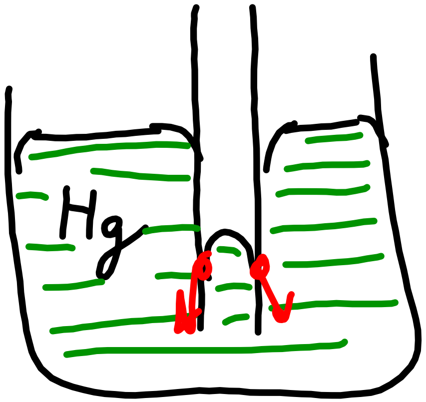
... viz F_{ev}

pokus „se sluhou"

papírová utěrka („sluha")

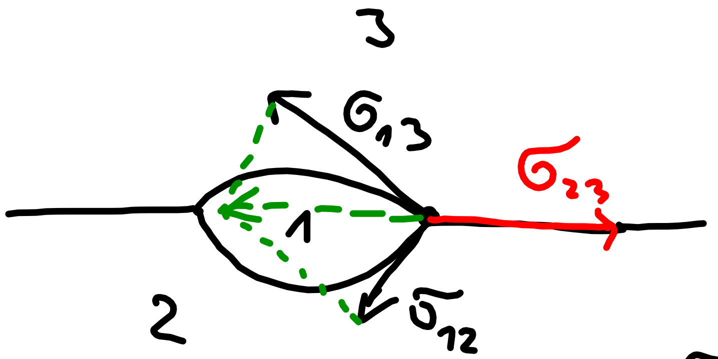
přelévání vody

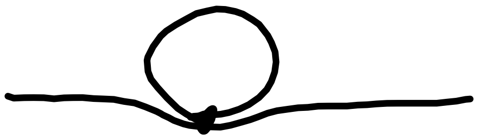




kapilární deprese

kapalina 1 (nemísí se, plave)
kapalina 2 (voda)
vzduch 3

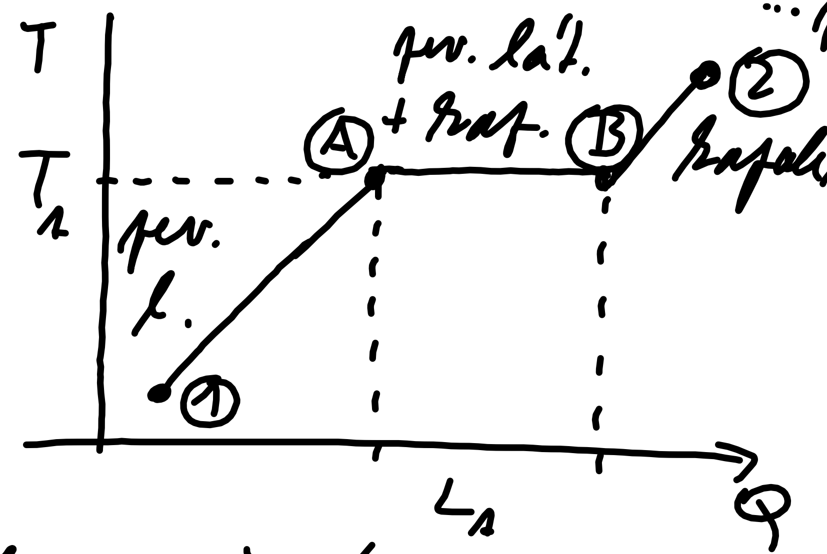




$\sigma_{23} > \sigma_{12} + \sigma_{13}$

vzniká monomolekulární vrstva

... Fázové přeměny
Tání a tuhnutí



... při určitém tlaku (p_1)

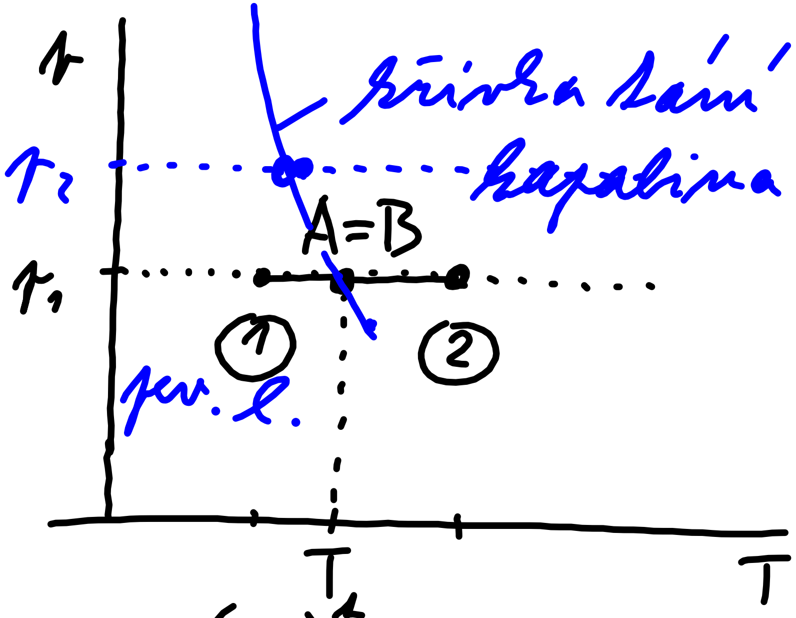
L_1 ... skup. teplo tání

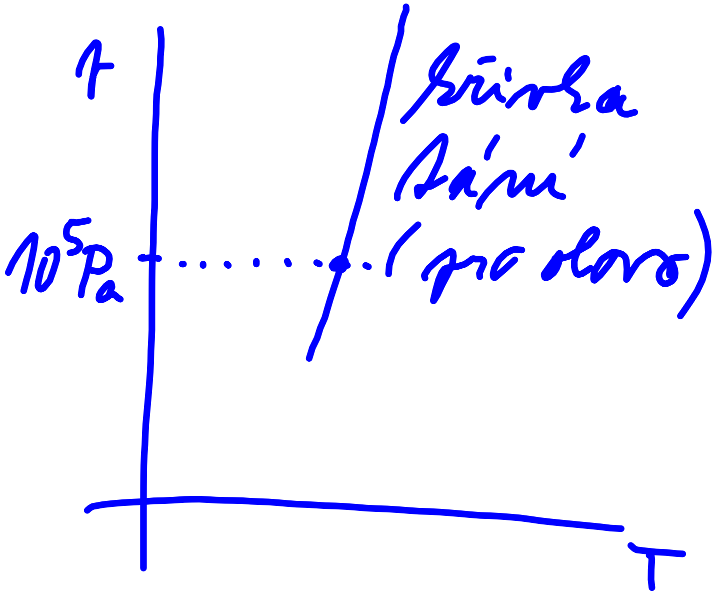
$$l_1 = \frac{L_1}{m}$$

l_1 ... měrné skupenské teplo tání

při změně tlaku se mění i teplota tání

(např. pro led platí, že při vyšším tlaku klesá teplota tání)



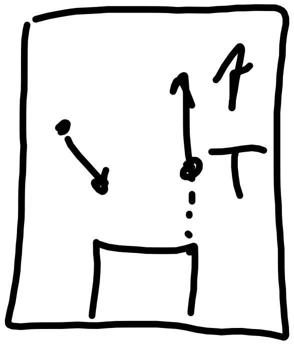


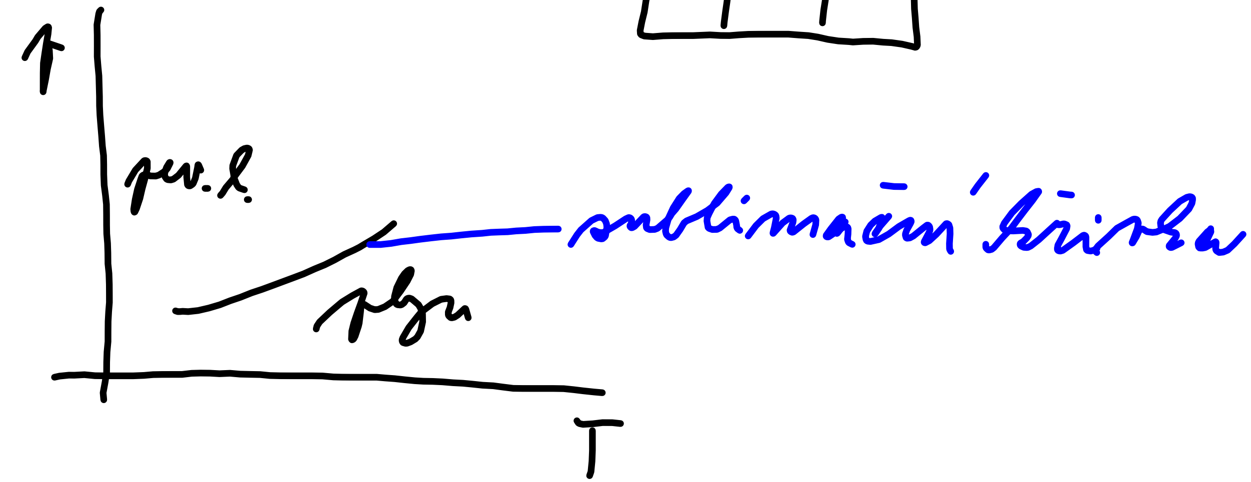
bod A(=B) znázorňuje stav termodynamické rovnováhy mezi pevnou a kap. fází

Sublimace a desublimace

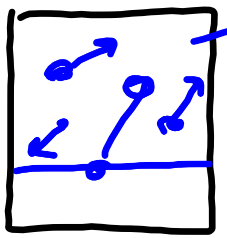
L_s

$$l_s = \frac{L_s}{m}$$

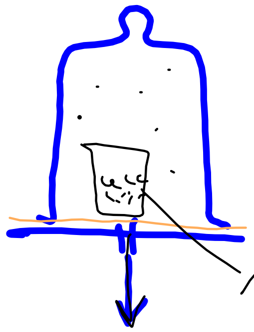




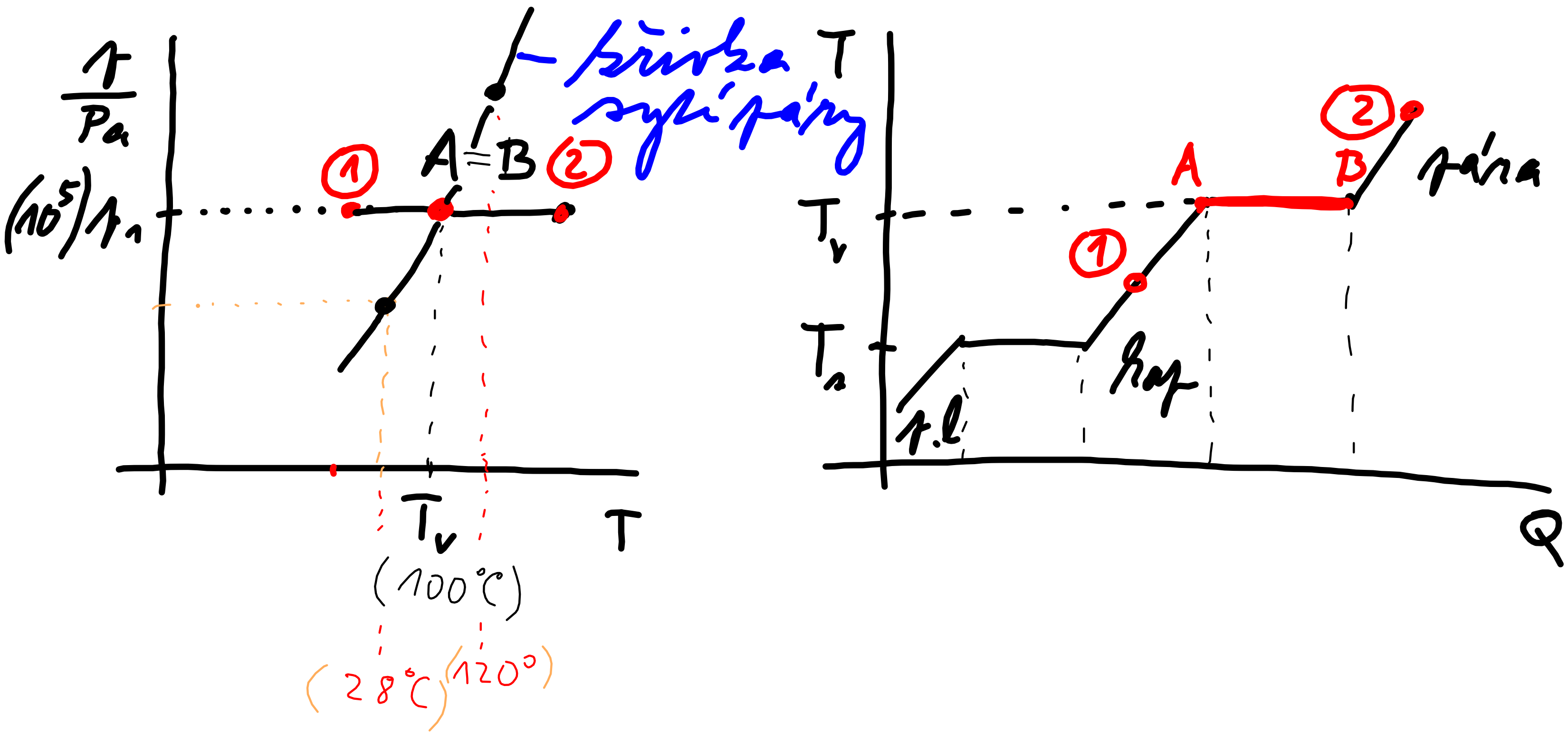
Vypařování a var



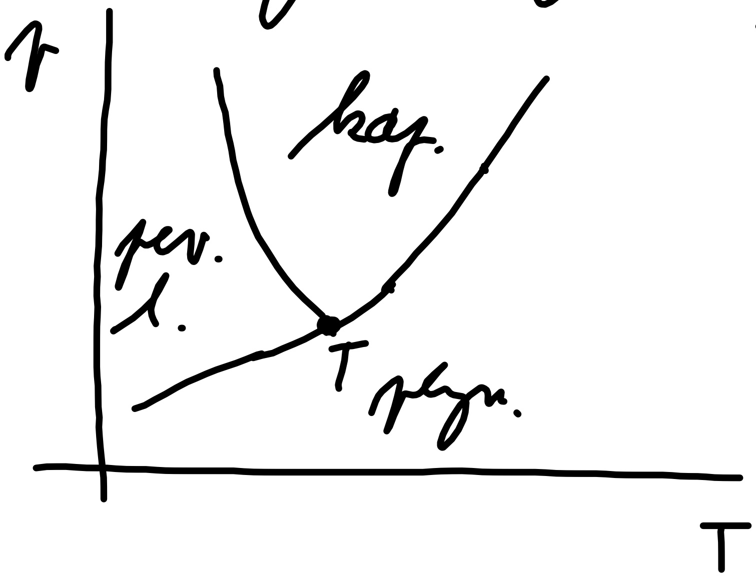
tlak sytých par
(při určité teplotě)



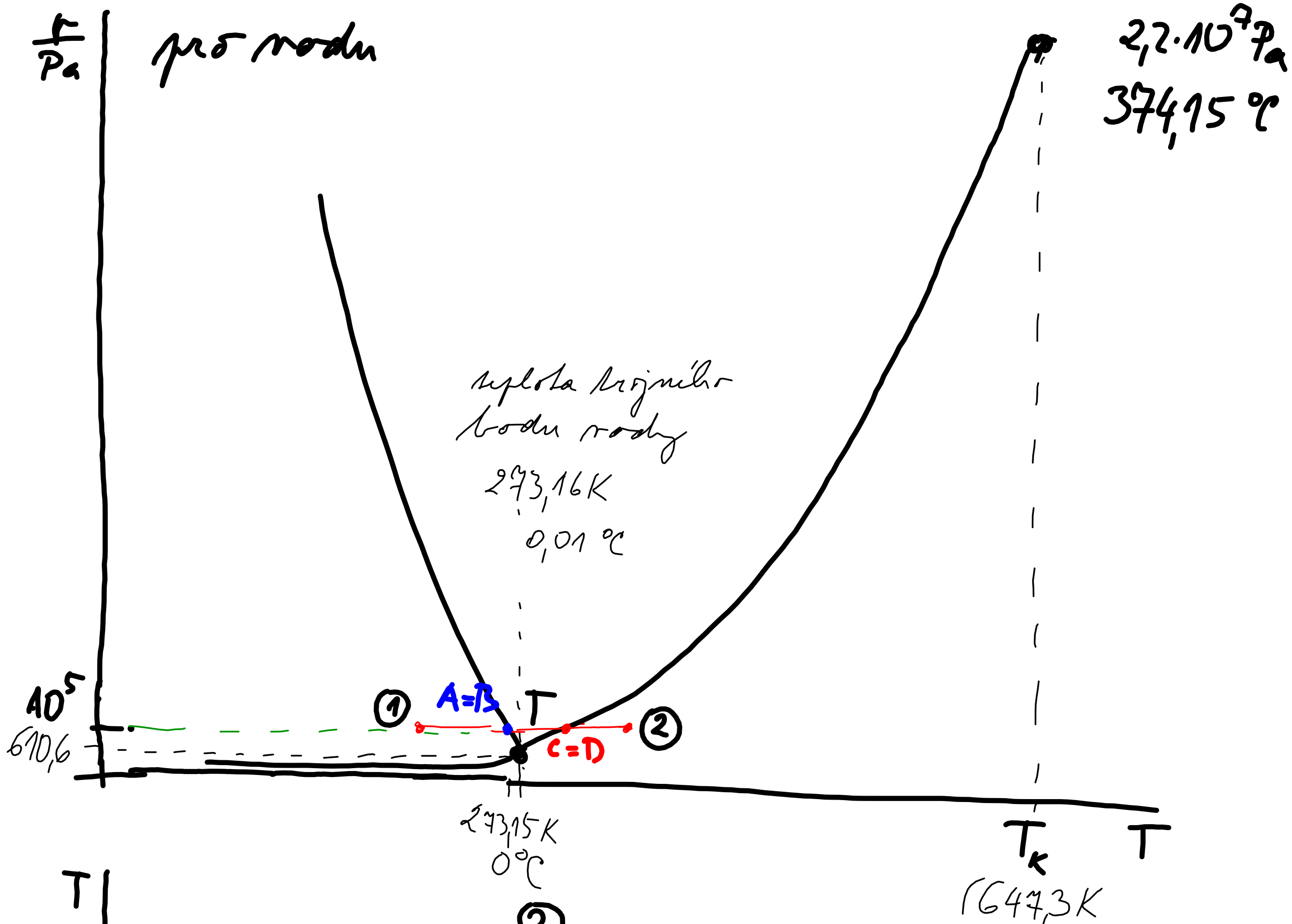
při atm. tlaku (10^5 Pa)
vaří voda při 100 °C
(v přetlakovém hrnci
vaří voda při teplotě
110 – 120 °C)

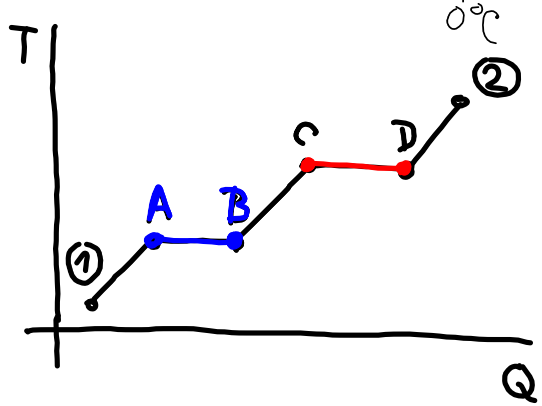

p/Pa
(10^5) 1
1
A=B
2
křivka syt. páry
T
Tv
(100°C)
(28°C)
(120°)
T
Tv
Tt
A
B
1
2
pára
kap
p.l
Q

Fázový diagram



T trojný bod ... stav termodyn. rovnováhy mezi kap. pev. a plyn. skupenstvím


p/Pa
pro vodu
2,2·10^7 Pa
374,15 °C
teplota trojného bodu vody
273,16 K
0,01 °C
10^5
610,6
① A=B T ② C=D
273,15 K
0 °C
T_k T
647,3 K


T
Q
① A B C D ②

vlhkost vzduchu

$$\Phi = \frac{m}{V}$$ abs. vlhkost vzduchu

Φ_{max} ...

$$\varphi = \frac{\Phi}{\Phi_{max}}$$

rosný bod